PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

vereinigt mit dem

JAHRBUCH DER RADIOAKTIVITÄT UND ELEKTRONIK

Nr. 21 — 1. November 1934. Redaktionsschluß für Nr. 23 am 14. November 1934. — 35. Jahrgang

INHALT:

Abhandlungen:

R. Jaeger, Über die Dosismessung überharter Röntgenstrahlen. S. 841.

W. Hohle, Eine tragbare Meßwandler-Prüfeinrichtung hoher Genauigkeit. S. 844.

H. Muckenthaler, Massenspektrographische Untersuchungen über die Isotopen des Sauerstoffs und Wasserstoffs. Mit Tafel XI. S. 851.

H. Maaß, Zählrohrmessungen an Ultrastrahlungskorpuskeln. S. 858.

U. Dehlinger und F. Gisen, Plastizität und Mosaikstruktur bei gegossenen und bei rekristallisierten Metallen. S. 862.

A. Adler, Das Tropfengewicht als Funktion der Tropfgeschwindigkeit und des Durchmessers der Tropffläche. S. 864.

W. Glaser, Gilt auf der rotierenden Scheibe die nichteuklidische Geometrie? S. 867.

Besprechungen. S. 871–873.

Vorlesungsverzeichnis für das Wintersemester 1934/35. S. 874.

Nachrichten. S. 880.

Gesuche. S. 880.

ABHANDLUNGEN.

Über die Dosismessung überharter Röntgenstrahlen.

Von R. Jaeger.

Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

Seit einiger Zeit sind in verschiedenen Kliniken Röntgenapparaturen in Gebrauch, bei denen die Röhrenspannung bis auf 500 kV und darüber hinaus gesteigert werden kann. Dadurch ist es notwendig geworden, auch die Standardmessungen mit Faßkammern gemäß den „gemeinsamen Richtlinien der nationalen Laboratorien für die Eichung von Röntgendosismessern“[1]) bis zu dieser Strahlenqualität auszudehnen und außerdem festzustellen, ob auch übliche wellenlängenunabhängige Kleinkammern bei den überharten Röntgenstrahlen ihren Eichwert beibehalten.

Zu diesem Zweck wurde mit Meßinstrumenten der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt an der von der Elektrizitätsgesellschaft Sanitas entwickelten Gamma-Volt-Anlage der Frauenklinik der Charité (Oberarzt Dr. v. Schubert) eine Reihe von Messungen ausgeführt, die folgende drei Punkte umfaßten:

1. Feststellung des notwendigen Faßkammerdurchmessers für die Strahlenqualitäten überharter Röntgenstrahlen.
2. Vergleich einer Fingerhut-Kleinkammer mit der Faßkammer und
3. Vergleich einer Universalkammer (UK) mit der Faßkammer im Gebiet überharter Strahlen.

1) Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr. **49**, 533, 1934; Strahlenther. **50**, 364, 1934.

1. Die benutzte Faßkammer[1]) hatte einen Durchmesser von 25 cm, eine Gesamtlänge von 50 cm und eine Meßelektrodenlänge von 30 cm. In die Kammer ließen sich graphitierte Pappzylinder von 7,8; 19,8 und 13,7 cm Durchmesser einsetzen. Die Strommessung geschah mit Hilfe eines Urankompensators. Die Aufstellung der gesamten Meßapparatur zeigt Abb. 1. Die Röntgenapparatur wurde bereits früher beschrieben[2]). Da die Strahlung von unten her in die Kammer eintrat, wurde die Faßkammer, wie die Abbildung zeigt, schwenkbar an einem Stativ angebracht, um die Einsätze bequem auswechseln zu können. Die Kammerblende hatte eine Dicke von etwa 15 mm, die Blendenöffnung (Durchmesser = 7 mm) war konisch ausgearbeitet. Alle schädliche Strahlung war durch Vorblenden sorgfältig abgeschirmt.

Für eine Strahlung von 500 kV mit einem Filter von 3 mm *Cu* (HWS: 6 mm *Cu*) wurde der Ionisationsstrom in Abhängigkeit von dem Durchmesser der Faßkammer aufgetragen, wobei der Endwert = 100 gesetzt wurde. Das Ergebnis dieser Messung ist in Abb. 2, Kurve 3, wiedergegeben. Die Kurve zeigt, daß der Kammerdurchmesser von 25 cm für diese Strahlenqualität noch ausreichend ist. Zum Vergleich sind in dieselbe Abbildung die Ergebnisse früherer Messungen mit weicheren Strahlen eingetragen. Kurve 1 der Abb. 2 bezieht sich auf 100 kV 2 mm *Al*[3]), Kurve 2 auf 190 kV 1,5 mm *Cu*.

1) H. Behnken u. R. Jaeger, Zeitschr. f. techn. Phys. **7**, 563, 1926.

2) H. Herrmann u. R. Jaeger, Strahlenther. **45**, 380, 1932.

3) H. Behnken u. R. Jaeger, l. c.

Außerdem wurde noch das Ergebnis einer Messung mit 150 kV und 0,5 mm *Cu* benutzt, um ein ungefähres Bild davon zu bekommen, welcher Kammerdurchmesser für jede dieser vier Strahlenqualitäten gerade noch ausreicht. Trägt man diese Durchmesser in Abhängigkeit von der HWS auf, so erhält man einen Zusammenhang, wie ihn etwa Abb. 3 wiedergibt. Hieraus geht ebenfalls hervor, daß man die 500-kV-Strahlung und

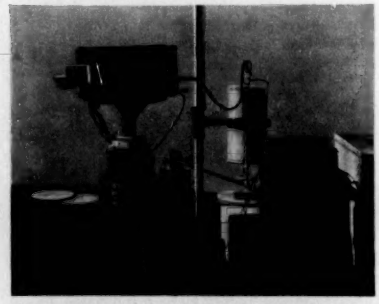

Abb. 1. Meßanordnung an der Gammavoltanlage der Charité.

Links auf dem Stelltisch: Urankompensator mit Elektrometer. Das Verbindungskabel führt zur Faßkammer, in die die Strahlung von unten her eintritt. Unterhalb der Faßkammerblende befindet sich die Fingerhutkammer, die an das auf dem Fußboden stehende Meßinstrument (A.G. 1) angeschlossen ist. Unter den Kammern Bleiblenden zur Abschirmung schädlicher Strahlung.

vielleicht sogar noch härtere Strahlengemische mit der 25-cm-Kammer messen kann. Dies entspricht dem Befund von Lauritsen[1]), der durch Aufnahmen mit einer Wilsonkammer von 30 cm Durchmesser feststellte, daß die Reichweite der bei 700 kV in Luft ausgelösten Comptonelektronen etwa 10 cm beträgt. Der Kammerdurchmesser der Faßkammer ist in die Abbildung eingezeichnet. Auf der Abszisse ist außerdem die HWS für die Gammastrahlung von Radium

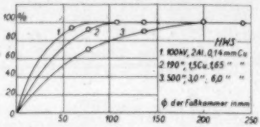

Abb. 2. Abhängigkeit des Ionisationsstroms vom Kammerdurchmesser bei verschiedenen Strahlenqualitäten.

$B+C$ nach Hevesy und Paneth[2]) eingetragen. Für diese Härte reicht die vorliegende Faßkammer sicher nicht mehr aus.

2. Zum Vergleich einer Fingerhutkammer mit der Faßkammer wurden beide in den gleichen Strahlenkegel gebracht. Die Aufstellung des Instrumentes ist aus der Abb. 1 ersichtlich. Die Ergebnisse der Messung zeigt die folgende Tabelle I. Der Abstand zwischen Röhrenfokus und

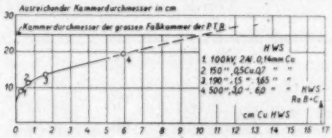

Abb. 3. Größe des zur Standardmessung ausreichenden Kammerdurchmessers bei verschiedenen Strahlenqualitäten.

innerem Blendenrand der Faßkammer war 1235 mm, der Abstand zwischen Fokus und Mitte der Kleinkammer 1174 mm, so daß sich als quadratisches Verhältnis der Faktor 1,11 ergab.

Tabelle I.

Spannung (max) in kV	Filter in mm *Cu*	HWS in mm *Cu*	Faßkammer r/sec in 1174 mm Entfernung	Kleinkammer r/sec in 1174 mm Entfernung	Verhältnis der Angaben der Faßkammer zu denen der Kleinkammer
350	2	3,1	$0{,}013_7$	$0{,}013_8$	$0{,}99_4$
400	2	3,6	$0{,}021_8$	$0{,}021_8$	$1{,}00_0$
450	2	4,4	$0{,}022_5$	$0{,}022_7$	$0{,}99_2$
500	2	5,5	$0{,}029_8$	$0{,}029_4$	$1{,}01_5$
500	3	6,0	$0{,}024_0$	$0{,}023_4$	$1{,}02_0$
					Mittel: $1{,}00_4$

Die Tabelle zeigt, daß innerhalb der Fehlergrenzen von 0,6 Proz. die frühere Eichkonstante der Kleinkammer erhalten ist. Einem Ionisationsstrom von $1 \cdot 10^{-10}$ A entspricht eine Dosisleistung von 0,0657 r/sec. Damit ist gleichzeitig bewiesen, daß die Kammerwand auch für die hier benutzte härteste Strahlenqualität noch die Sättigungsdicke für die sekundären

1) Vgl. Zitat bei L. S. Taylor, Radiology 22, 289, 1934.

2) Hevesy u. Paneth, Lehrbuch d. Radioakt., Leipzig (Joh. A. Barth) 1931.

Elektronen hat[1]). In Abb. 4 sind die hier ermittelten Meßwerte zusammen mit den älteren in Abhängigkeit von der Halbwertschicht aufgetragen. Die benutzte Kammer erweist sich demnach von 110 kV, 4 mm *Al* (HWS: 0,2 mm *Cu*)

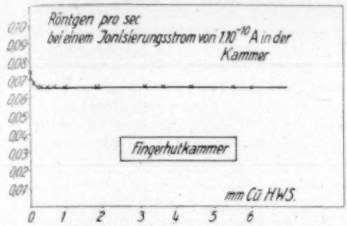

Abb. 4. Eichwert einer Fingerhutkammer von weichen bis zu überharten Strahlenqualitäten.

bis zu 500 kV und 3 mm *Cu* (HWS: 6 mm *Cu*) innerhalb der Fehlergrenzen als wellenlängenunabhängig.

3. Die früher beschriebene Universalkammer (UK)[2]) hatte sich von den Grenzstrahlen an bis zu den harten Strahlen hin als wellenlängenunabhängig erwiesen, und es schien von Interesse, festzustellen, ob diese Eigenschaft auch noch bis zu den überharten Strahlen hin bestehen bleibt. Diese Kammer hat Abschlußfenster, die aus 0,01 mm starkem Zellophan bestehen. Deshalb muß bei den Messungen mit harten Strahlen selbstverständlich darauf geachtet werden, daß alle Körper, die Sekundärelektronen aussenden, die genügende Entfernung von den Fenstern haben. Die Kammer befand sich 25 cm oberhalb des Filters, das in der Höhe des Fußbodens lag. Strahlende Gegenstände befanden sich sonst nicht in der Nähe. Um sich ein Bild über den Einfluß eines starken Sekundärstrahlers machen zu können, wurde von oben ein Stück Blei der Universalkammer genähert. Wie das in Abb. 5 wiedergegebene Resultat dieser Meßreihe zeigt, macht sich der Einfluß des Bleies von einer Entfernung von 10 cm an bemerkbar, bei größerer Entfernung dagegen nicht. Die Messungen, die nach genügender Entfernung aller Sekundärstrahler ausgeführt wurden, zeigten, daß die Kammer auch im Gebiet der überharten Strahlen wellenlängenunabhängig ist.

Schließlich wurde noch ein direkter Vergleich der Universalkammer mit der Fingerhutkammer in der Weise ausgeführt, daß die beiden Kammern zeitlich nacheinander in den Strahlenkegel gebracht wurden, während die Konstanz der

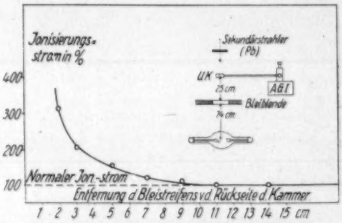

Abb. 5. Einfluß der Annäherung eines Bleistreifens an die Rückseite der Universalkammer (UK). (Zusatzionisierung durch Sekundärelektronen des Bleis.)

Strahlung dauernd durch ein im selben Strahlenkegel liegendes Hammerdosimeter kontrolliert wurde, das uns Herr Dr. v. Schubert zu diesem Zweck freundlichst überlassen hatte.

Tabelle II.

Spannung in kV	Filter in mm *Cu*	Fingerhutkammer *r*/sec	Universalkammer *r*/sec	Angaben der Fingerhutkammer zu denen der Universalkammer
250	0,5	0,0149	0,0149	1,00
350	0,5	0,0502	0,0498	1,00
400	0,85	0,0568	0,0565	1,00
450	1,5	0,050	0,0498	1,00
500	1,85	0,0580	0,0580	1,01

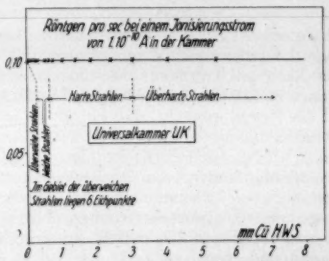

Abb. 6. Eichwert einer Universalkammer von den überweichen bis zu den überharten Strahlenqualitäten.

Die Übereinstimmung ist so gut wie vollkommen. Der Eichwert der Universalkammer wurde für das ganze bis jetzt durchgemessene

1) Albrecht, Strahlenther. **45**, 365, 1932, sowie H. Herrmann u. R. Jaeger, Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr. **48**, 59–62, 1933. Vgl. auch W. Friedrich, Beiträge zum Problem der Radiumdosimetrie, Strahlenther. (im Druck).

2) R. Jaeger, Physik. Zeitschr. **35**, 184–187, 1934.

Gebiet in Abb. 6 eingetragen. Von den Grenzstrahlen bis zu überharten Strahlen entspricht ein Ionisationsstrom von $1 \cdot 10^{-10}$ A in der Kammer einer Dosisleistung von 0,101 *r*/sec.

Die Untersuchung wurde durch die Mitarbeit des Technischen Sekretärs Herrn Emil Müller gefördert. Für die freundliche Überlassung der Röntgenapparatur sei Herrn Oberarzt Dr. v. Schubert bestens gedankt, ebenso ist der Elektrizitätsgesellschaft Sanitas, insbesondere Herrn Dr. Herrmann herzlichst zu danken für weitgehende Unterstützung bei der Ausführung der Messungen.

Zusammenfassung.

Messungen mit überharten Röntgenstrahlen an der Gamma-Volt-Anlage der Berliner Charité ergaben folgendes:

1. Eine Faßkammer von 25 cm Durchmesser reicht noch für Strahlungen von 500 kV mit einem Filter von 3 mm *Cu* (HWS: 6 mm *Cu*) aus; sie ist darüber hinaus noch bis zu einer Halbwertschicht von etwa 10 mm *Cu* zu verwenden. Dies entspricht dem Befund von Lauritsen, der durch Aufnahmen mit einer Wilsonkammer von 30 cm Durchmesser feststellte, daß die Reichweite der bei 700 kV in Luft ausgelösten Comptonelektronen, deren Anzahl diejenige der Photoelektronen weitaus überwiegt, etwa 10 cm beträgt.
2. Eine Fingerhutkammer aus etwa 1 mm starkem Graphit, deren Wellenlängenunabhängigkeit von einer HWS von 0,2 mm *Cu* bis zu 200-kV-Strahlen früher festgestellt war, erwies sich auch bis zu 500 kV und 3 mm *Cu* als wellenlängenunabhängig.
3. Das gleiche ergab sich für die Universalkammer (UK) unter der Voraussetzung, daß in der Nachbarschaft Stoffe, die Sekundärelektronen aussenden, vermieden werden. Damit ist der Beweis erbracht, daß für die bis jetzt üblichen überharten Strahlen die Faßkammer genau wie bei den anderen Strahlenqualitäten als Standardkammer zu verwenden ist und daß auch die Kleinkammern ihre Wellenlängenunabhängigkeit beibehalten unter Bedingungen, die in der Arbeit auseinandergesetzt sind.

(Eingegangen 8. September 1934.)

Eine tragbare Meßwandler-Prüfeinrichtung hoher Genauigkeit.

Von W. Hohle.

Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

Einleitung.

Die genaue Messung von Strom, Spannung, Leistung und Arbeit in den der elektrischen Energieversorgung dienenden Starkstromnetzen ist von großer technischer und wirtschaftlicher Bedeutung. Als unentbehrliche Hilfsapparate für den Anschluß der Meßgeräte haben sich dabei die Strom- und Spannungswandler, zusammenfassend als Meßwandler bezeichnet, erwiesen. Die Meßwandler sind Spezialtransformatoren, die zur Erweiterung des Meßbereiches von Meßgeräten dienen. Sie sollen die der primären Wicklung zugeführte Größe, Strom oder Spannung, amplitudengetreu in einem konstanten Verhältnis und ohne Phasenverschiebung auf die sekundäre Wicklung übertragen. Diese Transformierung bietet außerdem die Möglichkeit, Primär- und Sekundärwicklung elektrisch voneinander zu isolieren, wodurch sich in Hochspannungsanlagen Meßgeräte einbauen lassen, die man ohne Gefahr berühren und ablesen kann.

Die Übertragung der Meßgröße erfolgt nun nicht ganz fehlerlos. Soll durch das Einfügen der Meßwandler in die Schaltung die Sicherheit der Messung nicht beeinträchtigt werden, müssen geeignete Methoden zur Verfügung stehen, um die Wandlerfehler festzustellen. Dazu hat sich seit zwei Jahrzehnten die in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt von Schering und Alberti entwickelte Methode bewährt[1]). In neuerer Zeit sind in Deutschland zwei weitere Verfahren bekannt geworden und zu tragbaren Einrichtungen ausgebildet worden[2])[3]). In einer kürzlich erschienenen Arbeit[4]) hat der Verfasser ein Stromwandler-Prüfverfahren beschrieben, das auf einem neuen Meßprinzip beruht und aus dem sich eine tragbare Einrichtung großer Einfachheit und Genauigkeit hat entwickeln lassen. In der vorliegenden Arbeit werden weitere Schaltungen untersucht, die sich zum Prüfen von Spannungswandlern eignen. Eine solche Schaltung wird mit der früher beschriebenen Stromwandler-Prüfschaltung vereinigt, wodurch sich eine einfache übersichtliche Apparatur zum Prüfen von Strom- und Spannungswandlern hat

1) Arch. f. Elektrotechn. **2**, 263, 1914.
2) Sieber, Siemens-Zeitschr. **9**, 845, 1929, ferner ATM. Z. 224–1, Z. 224–3.
3) Verfahren der Firma Koch & Sterzel AG., Dresden.
4) W. Hohle, Arch. f. Elektrotechn. **27**, 849, 1933.

schaffen lassen. Von den ausgeführten Versuchen wird berichtet, und die kombinierte Prüfeinrichtung wird beschrieben. Die Einrichtung eignet sich nicht nur wegen ihrer Tragbarkeit zur Überwachung der Wandler am Betriebsort, sondern wegen ihrer Genauigkeit und Zuverlässigkeit auch für Messungen in Laboratorien und Elektrischen Prüfämtern.

Allgemeines über Meßwandler.

Zunächst seien einige allgemeine Bemerkungen über Meßwandler vorausgeschickt.

Als „Nennübersetzung" eines Meßwandlers bezeichnet man den Sollwert des Verhältnisses der primären zur sekundären Größe. Als genormte sekundäre „Nennstromstärke" ist 5 A, als sekundäre „Nennspannung" 100 V üblich; die Nennübersetzung wird als Verhältnis der primären zur sekundären Nenngröße in Bruchform angegeben, z. B. für einen Stromwandler 50/5 A, für einen Spannungswandler 10000/100 V.

Infolge der unvermeidlichen Ohmschen und induktiven Widerstände der Wandlerwicklungen und des für die Wechselmagnetisierung des Transformatorkernes notwendigen Magnetisierungsstromes entstehen Abweichungen der Nennübersetzung nach Größe und Phase. Man definiert als Strom- bzw. Spannungsfehler f die Abweichung der sekundären Größe von ihrem Sollwert in Hundertteilen des Sollwertes. Der Winkelfehler δ ist die Phasenverschiebung der sekundären Größe gegen die primäre; er wird üblicherweise in Winkelminuten angegeben.

Wandler neuerer Konstruktionen haben sehr geringe Fehler. Bei Wandlern, nach denen elektrische Arbeit verrechnet wird, liegen die Fehler in der Größenordnung von 0,5 Proz. und 30 Minuten. Bei Präzisionswandlern, die man als Normale und zu Laboratoriumsmessungen benutzt, können die Fehler auf wenige Zehntausendstel und 1 Minute heruntergedrückt werden. Durch die Möglichkeit, Wandler mit geringen, in der Regel vernachlässigbaren Fehlern zu bauen, haben diejenigen Prüfmethoden an Bedeutung gewonnen, die sich solcher Normalwandler speziell in einer Differentialschaltung bedienen. Aus einer solchen Schaltung ist das bereits früher ausführlich beschriebene

Verfahren zum Prüfen von Stromwandlern[1])

entwickelt worden. Abb. 1 zeigt die Schaltung. Die primären Wicklungen des Normalwandlers N und des zu prüfenden Wandlers X liegen in Reihe und werden von demselben Strom durchflossen. Normalwandler und zu prüfender Wandler müssen die gleiche Nennübersetzung haben. Der Einfachheit halber sollen die Fehler des Normalwandlers zunächst vernachlässigt werden. Die sekundären Wicklungen seien gemäß Abb. 1 so verbunden, daß durch den Diagonalwiderstand r die Differenz der sekundären Ströme fließt. Größe und Phasenlage dieses Differenzstromes bestimmen die Abweichung des Sekundärstromes J_X vom Sollwert J_N. Diejenige Komponente des Differenzstromes, die in Richtung von J_N liegt, bestimmt den Stromfehler und die dazu senkrechte Komponente den Winkelfehler. Der Spannungsabfall, den die Differenz der sekundären Ströme in dem Widerstand r hervorruft,

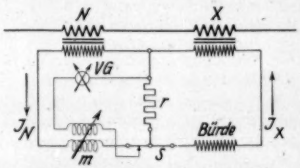

Abb. 1. Differentialschaltung zum Prüfen von Stromwandlern.

wird über ein als Nullinstrument dienendes Vibrationsgalvanometer (VG) gegen zwei regelbare Spannungen kompensiert. Diese Spannungen werden von dem Schleifdraht s und von der regelbaren Gegeninduktivität (GI) m abgenommen und vom Sekundärstrom des Normalwandlers geliefert; die eine Spannung liegt in Richtung mit diesem Strom und die andere steht senkrecht dazu. Bei Stromlosigkeit des VG können die Wandlerfehler unmittelbar an den Teilungen von s und m abgelesen werden, die mit Prozent Stromfehler und Minuten Winkelfehler beziffert sind. Als Nullinstrument dient ein in der Reichsanstalt entwickeltes Nadel-Vibrationsgalvanometer. Eigenschaften und technischer Aufbau der Einrichtung sind in der früheren Arbeit ausführlich beschrieben. In der vorliegenden Arbeit soll nun als Ergänzung ein ähnliches

Verfahren zum Prüfen von Spannungswandlern

behandelt werden. Aus den verschiedenen möglichen Schaltungen wird eine passende ausgewählt, die zusammen mit der bereits beschriebenen Stromwandler-Prüfschaltung zu der Ausbildung eines einfachen Meßkoffers zur Strom- und Spannungswandlerprüfung führt.

Ähnlich wie bei den Differentialschaltungen zum Prüfen von Stromwandlern wird auch bei der Spannungswandlerprüfung ein Normalwandler vorausgesetzt, der die gleiche Nennübersetzung wie der Prüfling hat. Diese Einschränkung erscheint zunächst wenig vorteilhaft, weil

1) W. Hohle, Arch. f. Elektrotechn. **27**, 849, 1933.

sich wegen der beim Normalspannungswandler erforderlichen Isolierfestigkeit die verschiedenen Übersetzungsverhältnisse nicht so bequem in einem einzigen Apparat unterbringen lassen wie bei einem umschaltbaren Normalstromwandler. Es ist aber zu bedenken, daß, von wenigen zentralen Stellen abgesehen, mit einer Prüfeinrichtung immer nur eine geringe Zahl von Übersetzungsverhältnissen beherrscht zu werden braucht. So sind beispielsweise in den Versorgungsgebieten der Elektrischen Prüfämter und der Elektrizitätswerke nur wenige, oft nur zwei bis drei Übersetzungsverhältnisse vorhanden. Im übrigen läßt sich natürlich durch einen umschaltbaren Zwischenwandler praktisch jedes beliebige von der Norm abweichende Übersetzungsverhältnis einstellen.

Die Grundschaltungen.

Bei den Stromwandler-Prüfschaltungen ist die Differenz der sekundären Ströme von Prüfling und Normalwandler zur Fehlermessung herangezogen worden; bei der Spannungswandlerprüfung wird entsprechend die Differenz der sekundären Spannungen benutzt. Normalwandler und Prüfling werden mit ihren Primärwicklungen parallel an die Hochspannung gelegt; die sekundären Wicklungen werden einpolig so verbunden, daß zwischen den verbleibenden offenen Wicklungsenden die Differenz der sekundären Spannungen herrscht. Bei fehlerlosem Normalspannungswandler ist dann diese Differenzspannung ein Maß für die Fehler des Prüflings; und zwar ist die Komponente der Differenzspannung, die in Richtung mit der Sekundärspannung des Normalwandlers liegt, ein Maß für den Spannungsfehler und die dazu senkrecht stehende Komponente ein Maß für den Winkelfehler des Prüflings.

Vor Besprechung der Schaltungen, die sich der sekundären Differenzspannung unmittelbar bedienen, sei eine Schaltung kurz angedeutet, bei der die Sekundärspannungen der Spannungswandler Ströme erzeugen, die dann der Stromwandler-Prüfschaltung zugeführt werden. In Abb. 2 ist eine solche Schaltung im Prinzip dargestellt. N ist der Normalspannungswandler, X der zu prüfende Spannungswandler. Die primären Wicklungen liegen parallel an der Hochspannung. Die sekundären Spannungen führen über die Scheinwiderstände Z_n und Z_x der von der Stromwandlerprüfung her bekannten Differentialschaltung die Ströme i_n und i_x zu. Sind die Gesamtscheinwiderstände der sekundären Kreise gleich, so daß sich die Ströme i_n und i_x nach Größe und Phase wie die sie erzeugenden Spannungen verhalten, so ist der den Diagonalwiderstand r durchfließende Differenzstrom, bezogen auf den „Normalstrom" i_n, ein Maß für die Fehler des Spannungswandlers X. Der Einfluß des Spannungsabfalls am Diagonalwiderstand r

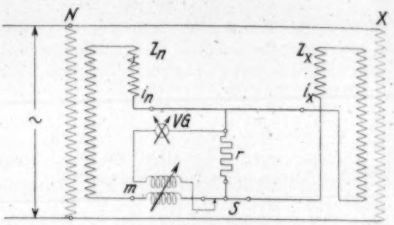

Abb. 2. Prüfung von Spannungswandlern mit Hilfe der Stromwandler-Differentialschaltung.

auf die Größe der Ströme i_n und i_x ist dabei vernachlässigt. Die Fehler können dann in bekannter Weise nach der Nullabgleichung an der GI m und dem Widerstand s abgelesen werden. Die Scheinwiderstände der Sekundärkreise müssen untereinander innerhalb der für die Messung gewünschten Genauigkeit von z. B. 0,01 Proz. übereinstimmen. Im übrigen können sie sich aus Widerständen, Drosseln, Zwischentransformatoren usw. zusammensetzen.

Die hohe Anforderung an die Genauigkeit der Schaltelemente braucht von den folgenden Schaltungen, welche die Differenz der sekundären Spannungen unmittelbar zur Messung heranziehen, nicht erfüllt zu werden. Außerdem wird der Prüfling dabei praktisch nicht belastet, und der Vorteil, die Elemente der Stromwandler-Prüfschaltung mit benutzen zu können, bleibt erhalten. Das Wesen dieser Schaltungen besteht darin, daß die Differenz der sekundären Spannungen von Normalwandler und Prüfling oder eine von dieser Differenz hervorgerufene Spannung über ein Nullinstrument zwei regelbaren Spannungen entgegengeschaltet wird, von denen die eine mit der Sekundärspannung des Normalwandlers in Phase ist und die andere senkrecht dazu steht. Dieses Prinzip läßt sich auf verschiedene Weise verwirklichen. Es sollen hier nur einige Beispiele besprochen werden. Abb. 3 zeigt eine solche Schaltung.

Die Differenz der sekundären Spannungen von Normalwandler N und Prüfling X sind über ein VG gegen zwei regelbare Spannungen geschaltet, die vom Schleifdraht s und der GI m abgenommen werden. Der Schleifdraht s und die Primärspule der GI m werden über einen Vorwiderstand R_1 mit Parallelkondensator C und einen Hilfswandler HW von der Sekundärspannung des Normalwandlers gespeist. Die einzelnen Elemente der Schaltung seien so abgeglichen, daß sich der Strom i in Phase mit

der Sekundärspannung des Normalwandlers befinde. Die Spannung an s liegt dann in Phase mit dieser Sekundärspannung und bildet ein Maß für den Spannungsfehler, die Spannung an der GI m ist um 90° verschoben und bildet ein Maß für den Winkelfehler des Prüflings. Widerstand und Induktivität der sekundären Spule der GI m gehen in das Meßergebnis nicht ein, da sie im Nullkreise liegen.

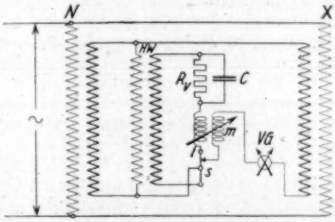

Abb. 3. Differentialschaltung zum Prüfen von Spannungswandlern.

In der Schaltung nach Abb. 3 wird die volle Differenzspannung auskompensiert. Sie beträgt z. B. bei einer Sekundärnennspannung von 100 V und einem Fehler von 1 Proz. 1 V. Die Schaltelemente der früher beschriebenen Stromwandler-Prüfeinrichtung, der Schleifdraht s und die GI m, liefern dagegen nur Kompensationsspannungen in der Größenordnung von einigen Hundertstel Volt. Wenn man also zur Vereinfachung der Meßanordnung die Apparate der Stromwandler-Prüfschaltung übernehmen will, muß man die

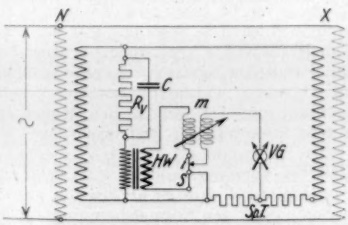

Abb. 4. Spannungswandler-Differentialschaltung mit Spannungsteiler SpT.

Differenzspannung durch einen Spannungsteiler SpT unterteilen, wie es in Abb. 4 gezeichnet ist. Die Meßempfindlichkeit ist, wie wir später sehen werden, immer noch ausreichend. Die Schaltelemente werden von einem Stromwandler HW gespeist, dessen Primärwicklung über die Parallelschaltung von Vorwiderstand R_V und Kapazität C an der Sekundärseite des Normalwandlers liegt. Diese Schaltung hat den Vorteil, daß man den Strom i der Größe der bei der Stromwandlerprüfung fließenden Ströme anpassen kann, ohne den Normalspannungswandler zu hoch zu belasten. Die einzelnen Schaltelemente seien wieder so abgeglichen, daß sich der Strom i in Phase mit der Sekundärspannung U_n des Normalwandlers befinde. Das Verhältnis beider habe den Wert $R = U_n/i$. Die Spannung an s ist dann wieder, ähnlich wie in der Schaltung nach Abb. 3, ein Maß für den Spannungsfehler und die Spannung an der GI m entsprechend ein Maß für den Winkelfehler des Prüflings. Die Schaltung nach Abb. 4 ist der neuen Spannungswandler-Prüfeinrichtung zugrundegelegt worden. Es seien hier kurz die Gleichgewichtsbedingungen angegeben. Wir bezeichnen mit s und m die jeweilig eingestellten Werte am Schleifdraht und an der regelbaren GI in Ω bzw. H, mit η_l das Verhältnis der am Spannungsteiler SpT abgegriffenen zur gesamten am Teiler liegenden Differenzspannung. Dann ergeben sich nach einfacher Rechnung bei einem Spannungsfehler f in Prozent und einem Winkelfehler δ in Minuten die Beziehungen:

$$f = \frac{s + \eta_l \cdot R(1 - \cos\delta)}{\eta_l \cdot R \cdot \cos\delta} \cdot 100 \text{ Proz.};$$

$$\sin\delta = \frac{\omega m}{\eta_l \cdot R \cdot \left(1 + \frac{f}{100}\right)}.$$

Mit erlaubten Vernachlässigungen erhält man:

$$f \approx \frac{s}{\eta_l \cdot R} \cdot 100 \text{ Proz.};$$

$$\delta \approx \frac{\omega m}{\eta_l \cdot R} \cdot \frac{1}{0{,}291 \cdot 10^{-3}} \text{ Min.}$$

Der bei Stromlosigkeit abgegriffene Schleifdrahtwiderstand s ist also ein Maß für den Spannungsfehler. Der Schleifdraht kann direkt in Prozent geeicht werden. Die Größe der GI m ist ein Maß für den Winkelfehler und kann für eine bestimmte Frequenz f_0 in Minuten geeicht werden. Bei einer anderen Frequenz f sind die abgelesenen Werte mit f_0/f zu multiplizieren.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß noch andere ähnliche Schaltungen möglich sind, bei denen der Spannungsteiler SpT durch einen Luft- oder Eisentransformator oder eine Luftgegeninduktivität in Reihe mit einem Widerstand ersetzt ist. Da diese Schaltungen aber keine wesentlichen Vorteile bieten, soll nicht näher darauf eingegangen werden.

Bezüglich der Arbeitsweise und der Eigenschaften der hier beschriebenen Spannungswandler-Prüfschaltungen gelten die gleichen Betrachtungen, wie sie seinerzeit bei Besprechung der Stromwandler-Prüfschaltung angestellt

worden sind. Der Meßvorgang ist wieder sehr einfach. Man stellt die gewünschte Spannung ein und regelt abwechselnd den Schleifdraht s und die GI m, bis das VG stromlos ist. Die Wandlerfehler können dann unmittelbar abgelesen werden. Gegebenenfalls berücksichtigt man die Fehler des Normalwandlers, indem man zu den abgelesenen Fehlern diejenigen des Normalwandlers algebraisch addiert. Da das Verfahren eine reine Nullmethode darstellt, kann man bei jedem Bruchteil der Spannung messen, ohne irgendwelche Umschaltungen vornehmen zu müssen; mit der Benutzung eines gegen Oberwellen unempfindlichen Nullinstrumentes werden die Fehler für die Grundwelle ermittelt, auf deren Kenntnis es praktisch allein ankommt. Die Meßbereiche lassen sich durch Anzapfungen an dem Spannungsteiler $S\,\dot{p}\,T$ leicht verändern. Die Belastung des Prüflings durch die Einrichtung ist verschwindend. Denn der Widerstand des Spannungsteilers $S\,\dot{p}\,T$ läßt sich bei Erhaltung einer genügenden Meßempfindlichkeit immer so hoch bemessen, daß der ihn durchfließende Strom für die Belastung der Wandler vernachlässigbar ist. Wählt man den Widerstand des Spannungsteilers z. B. zu 1000 Ω, so würde bei einem Fehler von 1 Proz., also einer Differenzspannung von 1 V bei 100 V Nennspannung, ein Strom von 1 mA fließen, was einer Belastung von 0,1 VA entsprechen würde.

Für die Beurteilung der Genauigkeit der Methode kommen die gleichen Überlegungen wie seinerzeit bei der Stromwandler-Prüfschaltung in Betracht. Da sich eine genügende Einstellgenauigkeit mühelos erreichen läßt, hängt bei einer von äußeren Einflüssen freien Messung der Meßfehler im Absolutwert einmal von der Genauigkeit ab, mit der die Fehler des Normalwandlers bekannt sind, und zweitens von der Genauigkeit der eingebauten Schaltelemente. Da diese letzteren aber nur die Differenz der Spannungen ausmessen, geht ihr Fehler erst in der zweiten Größenordnung ein, so daß die Ansprüche an ihre Genauigkeit nicht allzu hoch gestellt zu werden brauchen. Eine Genauigkeit von etwa 0,5—1 Proz. nach Größe und Phase für das Verhältnis R von Sekundärspannung des Normalwandlers zu dem die Kompensationsspannungen liefernden Strom i ist ausreichend.

Ausgeführte Versuche.

Die Schaltung nach Abb. 4 zur Prüfung von Spannungswandlern wurde unter Benutzung des bereits früher beschriebenen Meßkoffers für die Stromwandlerprüfung laboratoriumsmäßig zusammengestellt. Die Verhältnisse wurden so gewählt, daß bei einer Sekundärspannung des Normalwandlers von 100 V der Hilfsstromwandler HW einen Strom von 2 A abgab. Das Verhältnis $R = U_n/i$ betrug also 50. Durch richtige Wahl des Verhältnisses η des Spannungsteilers $S\,\dot{p}\,T$ kann man erreichen, daß die Schleifdrahtskalen der Stromwandler-Prüfeinrichtung auch für die Prüfung von Spannungswandlern gültig bleiben. Es sei der Vollständigkeit halber daran erinnert, daß bei der Stromwandler-Prüfschaltung die Teilungen der beiden Schleifdrahthälften für den positiven und negativen Stromfehler streng genommen etwas verschieden sein müssen, da die eine Hälfte vom Bezugsstrom J_N, die andere Hälfte vom fehlerhaften Strom J_X durchflossen wird. Bei der Spannungswandler-Prüfschaltung unterscheiden sich dagegen beide Teilungen nicht, da der gesamte Schleifdraht vom gleichen Strom i durchflossen wird. Die durch die Benutzung derselben Teilungen für die Prüfung von Strom- und Spannungswandlern entstehenden Fehler sind von zweiter Größenordnung und vernachlässigbar.

Aus einem Vergleich der früher für die Stromwandler-Prüfschaltung abgeleiteten Gleichgewichtsbedingungen[1]) und den oben für die Spannungswandler-Prüfschaltung abgeleiteten ergibt sich folgende Beziehung zwischen dem Spannungs-Strom-Verhältnis R, dem Spannungsteilerverhältnis η und dem Diagonalwiderstand r der Stromwandler-Prüfschaltung: $\eta \times R = r$. Für $r = 1\,\Omega$ und $R = 50\,\Omega$ ergibt sich $\eta = 1/50$. Der Spannungsteiler wurde zu 1000 Ω gewählt mit einer Anzapfung bei 20 Ω.

Als Hilfsstromwandler HW wurde ein kleiner Mantelkern aus *Ni-Fe* genommen, auf den zwei Wicklungen von 66 bzw. 2500 Windungen aufgebracht wurden. Die Wicklung mit der hohen Windungszahl wurde über einen Vorwiderstand R_V mit Parallelkondensator C an eine Spannung von 100 V gelegt. Sekundär speiste der Wandler Schleifdraht und GI der in den Koffer eingebauten Stromwandler-Prüfeinrichtung. Um hier einen Strom von 2 A bei 100 V zu erhalten, mußten der Vorwiderstand R_V zu 1330 Ω und der Kondensator C zu 0,71 μF gewählt werden. Die Belastung für den Normalspannungswandler betrug dann etwa 7 VA $\cos\beta = 1$. Das Spannungs-Strom-Verhältnis R war etwas spannungsabhängig. Diese Abhängigkeit wurde durch die stromabhängigen Fehler des Hilfswandlers HW und ferner durch einen geringen Einfluß der Erwärmung der Primärspule dieses Hilfswandlers auf den Gesamtwiderstand bedingt. Die gesamte Änderung des Verhältnisses der Schleifdrahtspannungen zu der Sekundärspannung des Normalwandlers betrug zwischen Spannungen von 50—140 V etwa $\pm$ 1 Proz. nach Größe und Phase.

1) Arch. f. Elektrotechn. **27**, 851, 1933.

Mit der beschriebenen Schaltung wurden an einer Reihe Spannungswandler Vergleichsmessungen mit der in der Reichsanstalt gebräuchlichen Methode ausgeführt. Die gegenseitigen Differenzen waren erwartungsgemäß gering. Von 36 an vier verschiedenen Wandlern gewonnenen Meßpunkten betrugen die größten Abweichungen 0,03 Proz. und 0,6 Minuten. Der mittlere Fehler der einzelnen Beobachtung betrug $0{,}01_4$ Proz. und $0{,}3_4$ Minuten. Die Empfindlichkeit der Messung war so groß, daß bei 80 Proz. der Nennspannung noch 0,1 Minute deutlich erkannt wurden.

Weitere Mittel zur Erzielung einer Verschiebung um 90°.

Zum Abschluß des Berichtes über die ausgeführten Versuche ist noch folgendes ergänzend zu der Ausbildung der „Gegeninduktivität" m zu sagen. Das in den Prinzipskizzen mit m bezeichnete Schaltungselement hat die Aufgabe, eine stetig oder in genügend feinen Stufen regelbare Spannung zu liefern, die gegenüber einem Strom um 90° verschoben und von diesem Stromkreis isoliert ist. Die Verwendung von Luftgegeninduktivitäten, deren Größe durch Änderung der relativen Lage der Spulen zueinander eingestellt wird, erscheint wegen der möglichen Störung durch magnetische Felder wenig zweckmäßig. Aus diesem Grunde waren zwei Schaltungen ausgeführt und in der früheren Arbeit[1]) beschrieben worden, die sich kleiner Eisentransformatoren bedienten, deren Kraftlinienwege durch einen Luftspalt und einen Eisenweg mit sich verjüngendem Querschnitt unterbrochen waren. Dieser besondere Aufbau des Kernes war notwendig, um über einen gewissen Strombereich eine genügende Konstanz der wirksamen Permeabilität des Eisenkreises zu erzielen.

Im folgenden werden noch weitere Mittel zur Erzielung einer um 90° verschobenen Spannung beschrieben, welche sich im wesentlichen fester Luftgegeninduktivitäten bedienen und die besondere Abgleichung eines Eisenkernes überflüssig machen. Zunächst wird eine feste Luftgegeninduktivität als ringförmiges Solenoid gewickelt, das auf Spezialmaschinen bequem herstellbar ist. Das Ringsolenoid ist in sich astatisch und läßt sich gegen inhomogene Fremdfelder durch eine geschlossene Panzerung schützen. Die an der offenen Sekundärwicklung auftretende Spannung ist (von Wirbelstromeffekten abgesehen) um 90° gegenüber dem primären Strom verschoben. Wenn man die Sekundärspulen nur schwach belastet, also über einen hohen Widerstand schließt, ist der entnommene Strom noch mit genügender Genauigkeit um 90° gegenüber dem primär erregenden Strom verschoben. Und zwar ergibt sich aus der Theorie des Lufttransformators für nicht allzu starke Belastungen die Abweichung von der 90°-Verschiebung angenähert aus dem Verhältnis der sekundären zur primären AW-Zahl. Da die Windungszahlen und der primäre Strom festliegen, ist diese Abweichung um so kleiner, je kleiner der sekundär entnommene Strom, je größer also der sekundäre Widerstand ist. Für die bei unseren Prüfschaltungen vorliegenden Verhältnisse läßt sich der Widerstand in Form eines einfachen Schleifdrahtes nicht hoch genug treiben. Wohl läßt er sich aber durch einen sogenannten Raupenschleifdraht verwirklichen, eine einlagige Spule aus Widerstandsmaterial, auf dessen blanken Windungen ein Kontakt schleift. Die Regelung ist zwar nicht ganz stetig, verläuft aber doch in sehr kleinen zu vernachlässigenden Sprüngen.

Den erforderlichen hohen Widerstand für die Belastung der GI kann man auch durch Widerstandsspulen bilden, deren Anzapfungen zu einem Umschalter führen und stufenweise in den Nullkreis eingeschaltet werden. Die noch verbleibende Feinregelung übernimmt ein einfacher Schleifdraht. Die GI selbst kann man aber auch in groben Stufen umschaltbar machen, so daß die Feinregelung wiederum durch einen einfachen Schleifdraht möglich ist.

Will man auf den Vorzug nicht verzichten, den Gesamtmeßbereich stetig zu regeln und dabei einen einfachen Schleifdraht zu verwenden, kann man noch zu folgendem Mittel greifen. Eine feste Luft-GI wird durch einen normalen Schleifdraht (Widerstand z. B. 4 Ω) belastet. Durch diese Belastung tritt eine unzulässige Abweichung von der Verschiebung um 90°, sagen wir z. B. von einigen Graden, ein. Diese Abweichung läßt sich aber durch einen Korrekturwandler nach Abb. 5 wieder beseitigen.

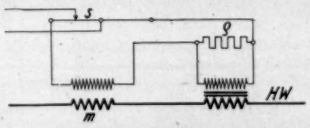

Abb. 5. 90°-Schaltung mit Hilfsstromwandler.

m ist die Luftgegeninduktivität, s der Schleifdraht, an dem die um 90° verschobene Kompensationsspannung abgenommen werden soll. HW ist ein kleiner als Stromwandler arbeitender Korrekturwandler, der einen Widerstand ϱ speist. An diesem Widerstand tritt ein Spannungsabfall auf, der im wesentlichen in Richtung

[1]) Arch. f. Elektrotechn. **27**, 852 u. 853, 1933.

mit dem Strom I liegt und der imstande ist, den Spannungsabfall am Schleifdraht s wieder genau um 90° gegenüber dem Strom J zu verschieben. Da der Hilfswandler HW nur eine kleine Korrekturspannung einzufügen hat, spielen dessen Fehleränderungen mit dem Strom J gar keine Rolle, so daß eine praktisch mit dem Strom J unveränderliche Luftgeninduktivität vorliegt. An Modellen ausgeführte Versuche ergaben in dem Strombereich von 0,5–6 A eine Änderung des Verhältnisses von Kompensationsspannung zu Strom in der Größenordnung von wenigen Promille nach Größe und Phase. Als Wandler HW wurde ein kleiner Ringkern von 45 × 70 mm Durchmesser aus Nickel-Eisen benutzt.

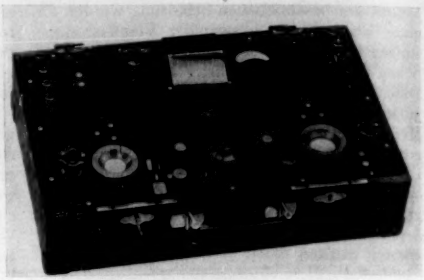

Abb. 7. Ansicht der Meßwandler-Prüfeinrichtung (Ausführung Hartmann & Braun AG.).

Die kombinierte Prüfeinrichtung für Strom- und Spannungswandler.

Die früher beschriebene Stromwandler-Prüfschaltung und die Spannungswandler-Prüfschaltung nach Abb. 4 lassen sich bequem zu einer einzigen, in einen Meßkoffer mäßiger Größe leicht unterzubringenden Schaltung vereinigen. In Abb. 6 ist diese Schaltung im Prinzip dargestellt. Die Bezeichnungen und die Wirkungsweise sind wohl aus dem früher Gesagten verständlich. Bei der Stromwandlerprüfung wird die Sekundärwicklung des Normalwandlers an die Klemmen N (kl) und die des Prüflings an die Klemmen X (kl) und die Bürde an die mit „Bürde" bezeichneten Klemmen angeschlossen. Die Lasche L ist geöffnet. Bei der Prüfung von Spannungswandlern wird die Sekundärseite des Normalwandlers an die Klemmen N (uv) und die des Prüflings an die Klemmen X (uv) gelegt und die Lasche L geschlossen. Die Bürde für den zu prüfenden Spannungswandler wird unmittelbar an die Sekundärklemmen u, v am Wandler selbst angeschlossen. Die meßfertigen Schaltungen lassen sich also sehr einfach und übersichtlich aufbauen. Die Firmen Hartmann & Braun AG., Frankfurt a. M., und Siemens & Halske AG., Berlin-Siemensstadt, stellen die Meßwandler-Prüfeinrichtung nach der in Abb. 6 gezeigten Schaltung her.

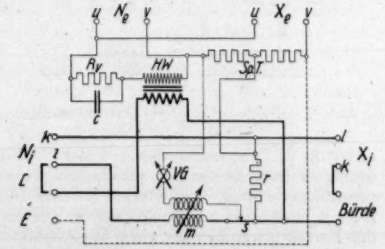

Abb. 6. Schaltung der kombinierten Einrichtung zum Prüfen von Strom- und Spannungswandlern.

In Abb. 7 ist die äußere Ansicht der von Hartmann & Braun gebauten Einrichtung wiedergegeben. Das VG nebst Empfindlichkeitsregler und Beleuchtungseinrichtung ist in den Meßkoffer mit eingebaut. Man erkennt die bereits in der Grundschaltung (Abb. 6) angegebenen Anschlußklemmen für die Sekundärseiten der Wandler, für die Bürde und die Erde. Vorn links und rechts außen sind die Drehknöpfe und Skalenausschnitte zweier auf kreisrunden Scheiben aufgezogener Schleifdrähte zu sehen, deren Skalen in Prozent Übersetzungsfehler und Minuten Winkelfehler eingeteilt sind. In der Mitte liegt das VG; und zwar vorn das Galvanometergehäuse mit dem Abstimmknopf oben, links ein Stromwender, rechts der Empfindlichkeitsregler. In der Mitte hinten ist in einem aufklappbaren Blechgehäuse die weiße Skala zur Beobachtung des Galvanometerbildes versenkt eingebaut; links davon ein Umschalter, rechts ein Anzeigeinstrument. Der Umschalter hat die Stellungen Prüfen, Messen × 1, Messen × 5. In der Prüfstellung wird das Zeigerinstrument, welches je eine Wicklung zur Strom- und Spannungsmessung hat, eingeschaltet. Bei falscher Polung der Wandler schlägt es aus, da es dann die Summe der Ströme bzw. Spannungen anzeigt. Erst nach richtiger Polung darf auf Messen umgeschaltet werden, wobei dann die Meßschaltung zur Nullabgleichung hergestellt wird. Die Stellungen × 1, × 5 gestatten das gewünschte Fehlermeßbereich einzustellen, das ± 2 Proz. und — 40 bis 140 Minuten bzw. das Fünffache dieser Werte umfaßt. Auf der Skala für den Übersetzungsfehler entspricht 0,1 Proz. einer Entfernung von 8,5 mm, auf der Skala für den Winkelfehler 1 Minute 2,2 mm. Der Diagonalwiderstand für die Stromwandlerprüfung

beträgt 0,5 Ω mit einer Anzapfung bei 0,1 Ω für den fünffachen Meßbereich; die durch diese Widerstände bedingte Bürdenverschiebung ist vernachlässigbar. Bei der Spannungswandlerprüfung wird die Differenzspannung durch einen Spannungsteiler von 1000 Ω Widerstand unterteilt; die Belastung des Prüflings ist verschwindend. Die Bürde der Prüfeinrichtung für den Normalstromwandler beträgt etwa 1,5 VA $\cos\beta = 1$, für den Normalspannungswandler etwa 5,3 VA $\cos\beta = 1$. Die Meßempfindlichkeit ist so groß, daß sich bei Stromwandlerprüfungen bei 1/10 des Nennstromes = 0,5 A Sekundärstrom noch 0,01 Proz. sehr bequem erkennen lassen. Die gleiche Empfindlichkeit erzielt man bei Spannungswandlermessungen bei 1/4 der Nennspannung. Der Koffer hat eine Größe von 520 × 340 × 160 mm und wiegt etwa 18 kg. Die Bürden zur Belastung der Meßwandler sowie die Meßgeräte zum Einstellen von Strom und Spannung sind in dem Koffer nicht mit enthalten.

Zusammenfassung.

Es werden Differentialschaltungen und die daraus entwickelten Prüfeinrichtungen beschrieben, mit denen sich die Fehler von Strom- und Spannungswandlern schnell und genau ermitteln lassen. Der Zusammenbau der Einrichtungen zum Prüfen von Strom- und Spannungswandlern in einem einzigen Koffer ist sehr bequem, Aufbau und Bedienung der Schaltungen einfach. Alle Teile der Einrichtung lassen sich mit genügender Genauigkeit und zeitlicher Konstanz ausführen.

Die erforderlichen Normalwandler, sowohl Strom- wie Spannungswandler, sind technisch zuverlässig und mit kleinen Fehlern herstellbar. Die Fehler guter Normalwandler liegen innerhalb $\pm$ 0,1 Proz. und weniger Minuten, so daß in der Regel an den abgelesenen Werten keine Korrekturen angebracht zu werden brauchen. Bei Berücksichtigung der Fehler der Normalwandler sind mit den neuen Schaltungen sehr genaue Messungen möglich. Die Meßwandler-Prüfeinrichtung eignet sich wegen ihres schnellen Meßvorganges, ihres einfachen Aufbaues und ihrer großen Genauigkeit und Zuverlässigkeit sowohl für Messungen im Betriebe, sei es im Prüffeld oder am Einbauort, wie auch für Messungen im Laboratorium und in den Elektrischen Prüfämtern.

(Eingegangen 13. September 1934.)

Massenspektrographische Untersuchungen über die Isotopen des Sauerstoffs und Wasserstoffs.

Von Hugo Muckenthaler.

Mit Tafel XI.

I. Einleitung.

In der nachstehenden Arbeit wird eine Neubestimmung des relativen Mengenverhältnisses der Sauerstoffisotopen O^{16}: O^{18} ausgeführt; außerdem sollte untersucht werden, ob eine Anreicherung des schweren Wasserstoffisotops H^2 mit Hilfe einer Diffusion durch Palladium erzielt werden kann. Die Untersuchung bedient sich einer massenspektrographischen Methode.

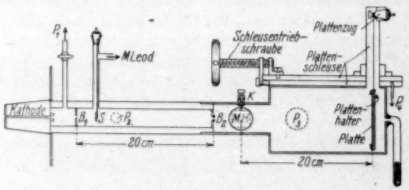

Fig. 1.

Zu diesem Zweck wurde der in Fig. 1 dargestellte Thomsonsche Parabelmassenspektrograph verwendet. Die beiden 0,1 mm weiten Lochblenden B_1 und B_2 haben einen Abstand von 20 cm. Bei den meisten Versuchen waren die Blenden zwecks Verkürzung der Aufnahmezeit 0,3 mm weit. Der Abstand Mitte Ablenkungsfeld—Platte beträgt ebenfalls 20 cm. Zur Abblendung des Kanalstrahles ist in den Strahlengang zwischen den beiden Blenden B_1 und B_2 das Abblendscheibchen S exzentrisch drehbar angeordnet. P_1, P_2, P_3 und P_4 sind Anschlüsse an Quecksilberdiffusionspumpen.

Um die photographischen Platten schnell und ohne große Mühe einlegen bzw. wechseln zu können, versahen wir unsere Apparatur mit der von R. Conrad[1]) angegebenen Plattenschleuse. Wie der Massenspektrograph arbeitet zeigt Fig. 2[2]), Tafel XI. Die linke Seite gibt das Massenspektrum von Leuchtgas, die rechte dasjenige von Luft wieder.

Als Aufnahmematerial für die Massenspektrogramme wurden nach verschiedenen Versuchen schließlich Schumannplatten verwendet, die wir selbst herstellten. Anfangs nach dem Rezept von v. Angerer[3]), dann wurden aber auch

1) R. Conrad, Physik. Zeitschr. **31**, 888, 1930.

2) Auf der im Verhältnis 4 : 5 verkleinerten Wiedergabe kommen nicht alle Einzelheiten heraus.

3) v. Angerer, Handb. d. Experimentalphysik, Bd. 1.

mit Erfolg Versuche angestellt, Schumannplatten mit noch wesentlich geringerem Gelatinegehalt als bisher herzustellen, auch konnten einige weitere Verbesserungen, vor allem feineres Korn, erzielt werden. Die Platten haben klare und gut auswertbare Aufnahmen ergeben.

II. Das Konzentrationsverhältnis der beiden Sauerstoffisotopen $O^{18}:O^{16}$.

Das Konzentrationsverhältnis der beiden Sauerstoffisotopen $O^{18}:O^{16}$ im Isotopengemisch des Sauerstoffs wurde durch bandenspektroskopische Messungen von H. D. Babcock[1]) zu 1:1250, von S. M. Naudé[2]) zu 1:1075, von R. Mecke und W. H. Childs[3]) zu 1:630, durch massenspektroskopische Untersuchungen von H. Kallmann und W. Lasareff[4]) an den Molekülen CO, H_2O und O_2 zu 1:640 und von F. W. Aston[5]) am Sauerstoffmolekül zu 1:536 bestimmt. Die Werte von Mecke und Childs $O^{18}:O^{16}:O^{17} = 1:630 \pm 20:0{,}2$ gelten als die zuverlässigsten. Nach Mecke und Childs ergibt sich hieraus für Sauerstoff ein mittleres Atomgewicht ($\bar{A}$) von 16,0035, bezogen auf $O^{16} = 16{,}0000$. Während die massenspektrographischen Massenzahlen auf $O^{16} = 16{,}0000$ bezogen sind, sind bekanntlich die chemischen Atomgewichte auf das Isotopengemisch $O = 16{,}00$ bezogen. Als Umrechnungsfaktor $f = \frac{A\,(\text{mass.})}{A\,(\text{chem.})}$ für die Umrechnung von Atomgewichten einfacher Elemente in massenspektrographische Massenzahlen und umgekehrt erhält man $f = \frac{16{,}0035}{16{,}0000} = 1{,}00022$. Nach Babcock wird $\bar{A} = 16{,}00166$ und daraus $f = 1{,}000103$. Der massenspektrographische Wert für die Masse des Wasserstoffatoms beträgt 1,00778, ein Wert, der wegen der guten Übereinstimmung der Zahlen von Aston (1,00778 ± 0,00015 (max. Fehler)[6]) und von K. T. Bainbridge[7]) (1,007775 ± 0,000035) sehr sicher ist. Nach Mecke und Childs sollte dann $H_{\text{chem}} = \frac{H_{\text{mass}}}{f} = 1{,}00756$, nach Babcock = 1,00767 sein. Diesen Zahlen aber scheint der heute allgemein angenommene Wert für das chemische Atomgewicht des Wasserstoffs zu widersprechen. E. Moles[1]) gibt als Mittelwert von neun verschiedenen Bestimmungen, die von fünf verschiedenen Autoren nach vier verschiedenen Methoden ausgeführt wurden, 1,00777 ± 0,00002 an. Die Berechtigung einen mittleren Fehler nach den Methoden der Fehlerrechnung aus solchen nach verschiedenen Methoden gewonnenen Werten zu errechnen, besteht allerdings wohl nicht. Jedoch ist der kleinste Wert der Tabelle von Moles 1,00766, der größte 1,00783. Kein einziger Wert ist so klein wie die Umrechnung aus dem massenspektrographischen Wert nach Mecke und Childs ergibt.

Drei Möglichkeiten könnten diese Unstimmigkeit erklären:

1. Das chemische Atomgewicht des Wasserstoffs ist in Wirklichkeit kleiner als 1,00777.
2. Im gewöhnlichen Wasserstoff sind H^2-Atome im Verhältnis 1:4500 vorhanden[2]).
3. $O^{18}:O^{16}$ (wir benutzen dieses Symbol im folgenden immer für das Mengenverhältnis im Gemisch) ist kleiner als die Messung von Mecke und Childs ergeben hat.

Es kann als unwahrscheinlich angesehen werden, daß der chemische Wert des Wasserstoffatomgewichtes einen so großen Fehler enthält.

Punkt 2 und 3 bedarf einer näheren Diskussion. Der anfänglich von H. C. Urey, F. G. Brickwedde und G. M. Murphy[3]) angegebene Wert für das Konzentrationsverhältnis $H^2:H^1 = 1:4000$ im gewöhnlichen Wasserstoff, wurde durch die massenspektrographischen Untersuchungen von W. Bleakney[4]), H. Kallmann und W. Lasareff[5]), J. T. Tate und P. T. Smith[6]) nicht bestätigt. Diese Autoren fanden für $H^2:H^1 = 1:30000$ bis 1:40000. H. C. Urey, F. G. Brickwedde und G. M. Murphy[7]) haben die Ursache dieser Diskrepanz später aufgeklärt. Bei ihren spektroskopischen Untersuchungen waren vermutlich die normalen Wasserstoffbalmerlinien durch Selbstumkehr relativ zu den schwachen Begleitlinien, die vom H^2-Atom ausgesandt

1) H. D. Babcock, Phys. Rev. **34**, 540, 1929.
2) S. M. Naudé, Phys. Rev. **36**, 333, 1930.
3) R. Mecke u. W. H. Childs, Zeitschr. f. Phys. **68**, 362, 1932.
4) H. Kallmann u. W. Lasareff, Zeitschr. f. Phys. **80**, 237, 1933.
5) F. W. Aston, Nature **130**, 21, 1932.
6) R. T. Birge u. D. H. Menzel, Phys. Rev. **37**, 1669, 1931.
7) K. T. Bainbridge, Phys. Rev. **43**, 103, 1933.

1) E. Moles, Zeitschr. f. phys. Chem. **115**, 61, 1925.
2) R. T. Birge u. D. H. Menzel, Phys. Rev. **37**, 1669, 1931.
3) H. C. Urey, F. G. Brickwedde u. G. M. Murphy, Phys. Rev. **39**, 164; **39**, 864; **40**, 1, 1932.
4) W. Bleakney, Phys. Rev. **41**, 32, 1932.
5) H. Kallmann u. W. Lasareff, Naturw. **20**, 206, 1932.
6) J. T. Tate u. P. T. Smith, Phys. Rev. **43**, 672, 1933.
7) H. C. Urey, F. G. Brickwedde u. G. M. Murphy, Phys. Rev. **40**, 464, 1932.

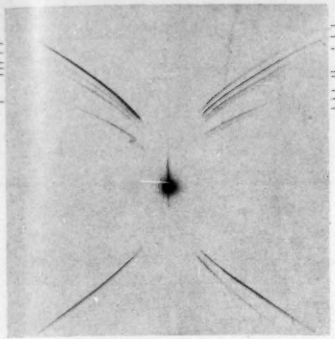

Fig. 2.

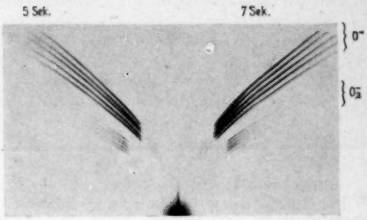

Fig. 3.

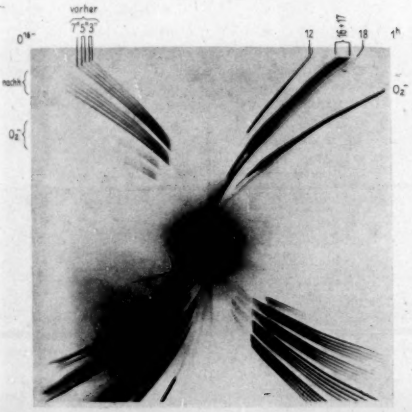

Fig. 4.

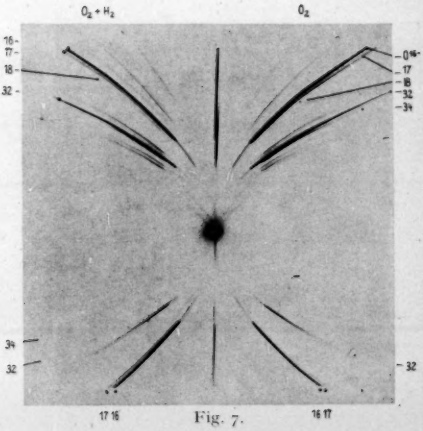

Fig. 7.

Fig. 8. Elektrolytischer Wasserstoff.

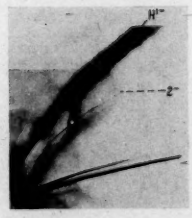

Fig. 9. Angereicherte Probe.

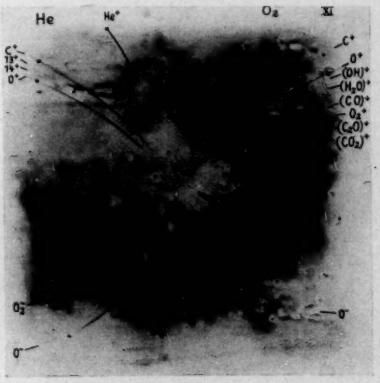

Fig. 10.

werden, stärker geschwächt. In einer neueren Arbeit kommen W. Bleakney und A. J. Gould[1]) zu dem Ergebnis, daß bei elektrolytisch gewonnenem Wasserstoff besonders bei verhältnismäßig neuen Zellen, das Verhältnis $H^2:H^1 = 1:30000$ ist. Wenn man aber den Wasserstoff auf anderem Wege aus Wasser gewinnt, z. B. Zersetzung von Wasserdampf über erhitztem Eisen, so findet man einen höheren Gehalt des schweren Wasserstoffs. Dies steht in Übereinstimmung mit den neueren Erfahrungen über die Gewinnung von schwerem Wasser durch Elektrolyse. Eine aus Regenwasser auf nichtelektrolytischem Wege bereitete Wasserstoffprobe ergab so $H^2:H^1 = 1:5000$. G. N. Lewis[2]) und R. T. Macdonald[3]) haben aus ihren Anreicherungsversuchen des schweren Wassers durch Elektrolyse auf ein Verhältnis 1:6500 im gewöhnlichen Wasserstoff geschlossen. Es könnte scheinen, daß diese neueren Ergebnisse die Unstimmigkeit zwischen dem chemischen und massenspektroskopischen Wert aufklären und demnach auch mit den Ergebnissen von Mecke und Childs über das Verhältnis von $O^{18}:O^{16}$ im Einklang zu bringen sind. Jedoch ist aus den Angaben von Moles zu entnehmen, daß der für die chemische Atomgewichtsbestimmung verwendete Wasserstoff elektrolytisch, und dann natürlich aus neuen Zellen bereitet wurde. Wahrscheinlich war also der H^2-Gehalt dieses Wasserstoffs so gering (etwa 1:30000), daß er sich bei der Atomgewichtsbestimmung nicht bemerkbar machen konnte. Es erscheint deshalb als möglich, daß das Mengenverhältnis $O^{18}:O^{16}$ tatsächlich kleiner ist als die Messungen von Mecke und Childs und Kallmann und Lasareff ergeben.

Wir haben deshalb versucht, das Mengenverhältnis nochmals massenspektrographisch mit Kanalstrahlen nach der photographischen Methode zu bestimmen.

Es erhebt sich zunächst die Frage, an welchen Ionen die Bestimmung am sichersten vorgenommen werden kann, so daß man nicht durch Überlagerungen gestört wird. O^{18+} wird stets durch $(H_2^1O^{16})^+$ überlagert, auch bei O^{18++} ist nach R. Conrad[4]) eine Überlagerung durch $(H_2^1O^{16})^{++}$ nicht auszuschließen. O^{16-} ist im Sauerstoffkanalstrahl sehr stark vorhanden, außerdem tritt $(O^{16}H^1)^-$ ziemlich stark auf. $(H_2^1O^{16})^-$ scheint dagegen bisher nicht beobachtet zu sein. J. J. Thomson[1]) gibt an, daß er negativgeladene Moleküle nur bei O_2, C_2 und OH gefunden habe. Dies sind Elemente oder Radikale. Er konnte keine negativen Moleküle in den Kanalstrahlen bei chemischen Verbindungen auffinden. In neuerer Zeit scheint diese Frage nicht genauer überprüft zu sein, doch schien es hiernach möglich, O^{18-} frei von Überlagerungen zu erhalten und direkt mit O^{16-} zu vergleichen. Ein Versuch in dieser Richtung erschien schon deshalb lohnend, weil eine Bestimmung des Mengenverhältnisses $O^{18}:O^{16}$ bisher noch nie am Atom selbst durchgeführt worden ist.

Die Methode, nach der bei der Bestimmung des Mengenverhältnisses der Sauerstoffisotopen verfahren wurde, war im Prinzip die folgende. Auf der einen Seite der Platte wurde eine Aufnahme des negativen Massenspektrums der Sauerstoffkanalstrahlen mit langer Expositionszeit (eine Stunde) gemacht. Dann wurde das elektrische Feld umgepolt und auf der anderen Seite der Platte wurden mehrere Aufnahmen mit variierten kurzen Expositionszeiten von einigen Sekunden aufgenommen. Jede dieser Einzelaufnahmen wurde mit einem etwas anderen Magnetfeld gemacht, so daß eine Reihe verschieden stark exponierter Parabeln von O^{16-} nebeneinander entstanden. Es wurde nun diejenige der Parabeln von O^{16-} aufgesucht, deren Schwärzung mit der O^{18-}-Parabel auf der lange exponierten Aufnahme übereinstimmte. Bei der einstündigen Aufnahme war es schwierig, die Entladungsbedingungen konstant zu halten, obwohl eine Glimmentladung im Sauerstoff in dieser Beziehung noch recht günstig ist. Es gelang immerhin, die Entladungsstromstärke auf 5 Proz. und die Entladungsspannung auf 2 Proz. konstant zu halten. Um den Einfluß einer Inkonstanz der Entladungsbedingungen abzuschätzen, machten wir während einer Stunde, in konstanten Zeitabständen auf ein und derselben Platte, bei kleiner Variation des magnetischen Feldes, Aufnahmen der Parabel O^{16-} mit fünf und sieben Sekunden Expositionszeit. Fig. 3, Tafel XI zeigt eine derartige Kontrollaufnahme; auf der linken Seite wurde fünf, auf der rechten sieben Sekunden belichtet. Die Schwärzungen der Parabeln wurden an Stellen gleicher elektrischer Ablenkung, d. h. für gleiche kinetische Energie $\frac{mv^2}{2}$, photometrisch bestimmt. Tabelle I zeigt das Ergebnis. Die Schwärzung ist in willkürlichen Einheiten angegeben. Die dritte Kolonne gibt jeweils die berechnete prozentische Intensitätsschwankung an. Diese Zahlen wurden folgendermaßen gewonnen:

1) W. Bleakney u. A. J. Gould, Phys. Rev. **44**, 265, 1933. Hier auch ausführliche Literaturangaben.

2) G. N. Lewis, J. A. Chem. Soc. **55**, 1297, 1933.

3) R. T. Macdonald, J. Chem. Phys. **1**, 341, 1933.

4) R. Conrad, Phys. Zeitschr. **31**, 888, 1930.

1) J. J. Thomson, Rays of Pos. Electricity.

Tabelle I.

5 Sekunden			7 Sekunden		
S	ΔS	$\frac{100 \cdot \Delta J}{J}$ in Proz.	S	ΔS	$\frac{100 \cdot \Delta J}{J}$ in Proz.
41,0	− 0,1	− 0,3	51,7	− 0,6	− 1,8
36,9	− 4,2	− 12,6	51,2	− 1,1	− 3,3
41,8	+ 0,7	+ 2,1	53,6	+ 1,3	+ 3,9
44,5	+ 3,4	+ 10,2	52,7	+ 0,4	+ 1,2
40,2	− 0,9	− 2,7	(30,5)	—	—
41,1	± 1,5	± 5,0	52,3	± 1,1	± 1,6

Nach F. W. Aston[1]) kann für die photographische Wirkung der Kanalstrahlen das Reziprozitätsgesetz $J \cdot t =$ konstant angenommen werden. Ist $J =$ Intensität, $S =$ Schwärzung und $c =$ eine Konstante, so gilt innerhalb des normalen Schwärzungsbereiches $\log J = c \cdot S$ oder $\frac{dJ}{J} = c \cdot dS$. Aus den Zahlen der Tabelle folgt:

$$\frac{dJ}{J} = \frac{7-5}{6} = c \cdot dS = c(52{,}3 - 41{,}1)$$

und hieraus $c = 0{,}03$ in Übereinstimmung mit anderen ähnlichen Kontrollaufnahmen. Die prozentische Intensitätsschwankung ergibt sich demnach aus $\frac{dJ \cdot 100}{J} = 3 \cdot dS$. Wie man sieht, sind diese Schwankungen hinlänglich klein, falls man für jede der kurzen Expositionszeiten mehrere Aufnahmen macht und die Schwärzung mittelt. Um Intensitätsschwankungen möglichst unschädlich zu machen, verfuhren wir folgendermaßen. Zuerst wurden auf der einen Seite fünf Parabeln von O^{16-} bei verschiedenen Expositionszeiten gemacht. Dann wurde das ablenkende elektrische Feld umgepolt und die einstündige Aufnahme auf der anderen Seite der Platte gemacht. Darauf wurde das elektrische Feld wieder umgepolt und nochmals fünf Vergleichsaufnahmen von O^{16-} mit den gleichen Expositionszeiten wie anfangs nur mit anderen magnetischen Feldern, ausgeführt. Fig. 4, Tafel XI zeigt eine derartige Aufnahme. Links oben sind fünf Parabeln von O^{16-} zu sehen mit den Expositionszeiten 3″, 3″, 5″, 5″ und 7″, die vor der langen Aufnahme gemacht sind, darunter nochmals fünf Parabeln, die nach der langen Aufnahme gemacht sind. Rechts sieht man die lang exponierte Aufnahme. O^{16-} und $(OH)^-$ sind hier zu einer breiten Parabel verschmolzen. Darunter ist die Parabel der Masse 18 zu sehen. Bei den kurzen Aufnahmen von einigen Sekunden ist von $(OH)^-$ noch nichts zu sehen. Die Schwärzungen der Parabeln wurden immer bei gleichen Abständen von der Ordinatenachse, d. h. bei gleicher elektrischer Ablenkung, mit dem Mikrophotometer von W. Schütz[1]) photometriert. Die geringe Untergrundschwärzung wurde jeweils von der Parabelschwärzung abgezogen. Im allgemeinen wurde die Photometrierung an drei verschiedenen Stellen der Parabeln vorgenommen, um ein Urteil über die Gleichmäßigkeit der photographischen Platte zu erhalten. Größere Unterschiede ergaben sich hierbei nicht. Die Schwärzungen für Parabeln gleicher Intensität bzw. Expositionszeit wurden gemittelt. Eine Schwärzungskurve, welche die Schwärzung als Funktion von $\log J$ gibt, konnte nun gezeichnet und daraus das Mengenverhältnis der Masse 18 zu O^{16} ermittelt werden. Die Fig. 5 und 6 zeigen Beispiele

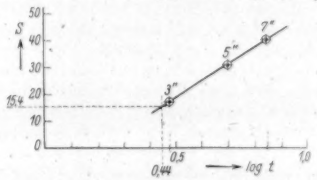

Fig. 5.

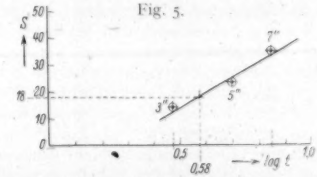

Fig. 6.

für die Auswertung, die wohl ohne weiteres verständlich sind. Aus der Aufnahme [Fig. 4, Tafel XI[2])] ergibt sich O^{16} zu Masse $18 = 1310$. Die Photometrierung an einer anderen Stelle der Platte ergab den gleichen Wert. Die Schwärzungskurve ist mit genügender Genauigkeit durch $S = c \cdot \log t$ darstellbar. Bemerkt sei, daß Aufnahme Fig. 4, Tafel XI nach einer besonders langdauernden Reinigung des Rohres durch kräftige Sauerstoffentladung gemacht wurde. Da es möglich war, daß die Parabel 18 nur zum Teil durch O^{18-}, zum Teil aber durch $(H_2^1O^{16})^-$ erzeugt wurde, mußte diese Frage besonders untersucht werden. Fig. 7 zeigt eine Doppelaufnahme der positiven Ionen im Kanalstrahl. Die Expositionszeit betrug nur zwei Minuten. Die Aufnahme links ist mit einem Gemisch von Wasserstoff und Sauerstoff gemacht,

1) F. W. Aston, Proc. Roy. Soc. Lond. **126**, 511, 1930.

1) W. Schütz, Physik. Zeitschr. **34**, 566, 1933. Auch an dieser Stelle danke ich Herrn Prof. Dr. Schütz bestens für die zeitweise Überlassung seines ausgezeichneten Instrumentes.

2) Die Auswertung (Fig. 5) gehört zur Aufnahme Fig. 4, Tafel XI.

die rechts mit möglichst reinem Sauerstoff. Man sieht links $(H_2^1O^{16})^+$ stark, rechts nur sehr schwach. Man kann also die Ionen des Wassers vermehren durch Zusatz von Wasserstoff zum Sauerstoff und dann zusehen, ob sich dadurch das Verhältnis O^{16} zu Masse 18 bei den negativen Ionen ändert. Eine Verkleinerung dieses Verhältnisses würde anzeigen, daß noch eine Überlagerung durch negative Ionen des Wassers über O^{18-} vorhanden ist. Aufnahmen der negativen Ionen in der gleichen Weise wie vorher, nur mit einem Gemisch von ein Volumen Wasserstoff auf ein Volumen Sauerstoff, ergaben indessen keine wesentlich anderen Werte. Fig. 6 zeigt die Auswertung einer solchen Aufnahme. Der Mittelwert aus zwei Messungen ergibt hier für O^{16}: Masse 18 = 940. Dieser Wert ist zwar in der Tat kleiner. Eine Zusammenstellung aller unserer Ergebnisse aus sechs Aufnahmen zeigt Tabelle II. Man sieht, daß auch ohne Zusatz von Wasserstoff, z. B. in Aufnahme 55, die allerdings zu den am wenigsten gelungenen gehört, ein Wert $\frac{O^{16}}{O^{18}} = 830$ gefunden wurde. Bei Aufnahme 56, die den größten Wert ergab, war eine besonders gründliche Reinigung des Rohres durch Entladung in Sauerstoff vor der Aufnahme vorgenommen worden. Die Unterschiede in den Ergebnissen bei den verschiedenen Aufnahmen scheinen uns größer zu sein als man nach der Methode erwarten sollte, so daß eine gewisse Überlagerung durch $(H_2O)^-$ nicht unwahrscheinlich ist. Der Mittelwert aus den Werten der Tabelle II ist 1058 ± 69. Dazu mag bemerkt werden, daß diese Zahl wegen der erwähnten Möglichkeit einer Überlagerung eher zu klein als zu groß ist. Unser kleinster Wert ist 830, unser größter 1300. Die Extremwerte der Messungen von Mecke und Childs sind etwa 500 und 800. Ich erwähne noch, daß ein von eins wenig verschiedener Schwarzschildexponent (etwa 0,99) unser Ergebnis nur um etwa 7 Proz. erniedrigen würde, was innerhalb der Meßfehler der Methode liegt. Vorsichtig ausgedrückt lautet also unser Resultat

$$\frac{O^{18}}{O^{16}} \leqq \frac{1}{1000},$$

Tabelle II.

Plattennummer	Mengenverhältnis $O^{16}:O^{18}$	Abweichung von Mittelwert	Füllgas
54	1000	− 58	Sauerstoff
55	830	− 228	Sauerstoff
56	1300	+ 242	Sauerstoff
57	1170	+ 112	Sauerstoff
58	940	− 118	$O_2 + H_2$
59	1100	+ 42	$O_2 + H_2$
	1058 ± 69		

was den Werten von Babcock und Naudé näherkommt als dem von Mecke und Childs. Der Wert von Kallmann und Lasareff, der mit dem von Mecke und Childs übereinstimmt, scheint durch die Art der Messung und die Kontrolle an mehreren Molekülen allerdings gut fundiert zu sein. Auffallen muß aber, daß das Molekül $C^{13}O^{16}$ nicht beobachtet wurde, obwohl nach bandenspektroskopischen Beobachtungen[1]) das Verhältnis $\frac{C^{13}}{C^{12}}$ ungefähr $\frac{1}{100}$ sein soll. Der Astonsche Wert $O^{16}:O^{18} = 536$ ist, wie Aston selbst vermutet, wahrscheinlich zu niedrig. Er ist durch Vergleich der Intensitäten von $O_2^{16+} = 32$ und $(O^{16}O^{18})^+ = 34$ gewonnen. Überlagerungen sind aber nicht ausgeschlossen [S^{34+} vielleicht auch $(S^{32}H_2^1)^+$]. Aus unserer Aufnahme Fig. 7, Tafel XI ist zu ersehen, daß die Masse 34 bei unseren Versuchsbedingungen so stark auftritt, daß sie unmöglich von $(O^{16}O^{18})^+$ allein herrühren kann. Auch bei den negativen Ionen tritt sie auf. Übrigens sieht man auf dieser Aufnahme bei den negativen Ionen O^{16-} von $(O^{16}H^1)^-$ getrennt. Bei der einstündigen Aufnahme (Fig. 4, Tafel XI) sind diese Parabeln so stark überexponiert, daß beide zu einer breiten Parabel verschmölzen sind.

Wir möchten noch erwähnen, daß vor kurzer Zeit eine Arbeit von W. R. Smythe[2]) erschien, in der der Verfasser bei seinen Messungen ein relatives Mengenverhältnis $\frac{O^{16}}{O^{18}} = 530 \pm 10$ erhalten hat. Die Untersuchung wurde, wie bei einigen der zitierten Autoren, auch am Molekülion ausgeführt.

III. Anreicherung des schweren Wasserstoffisotops bei der Diffusion durch Palladium.

H. C. Urey, F. G. Brickwedde und G. M. Murphy[3]) konnten als erste in gewöhnlichem Wasserstoff das H-Isotop mit der Masse 2 spektroskopisch nachweisen. Sie schlossen bei ihren ersten Versuchen auf eine relative Menge $H^2:H^1$ von etwa 1:4000. Außerdem reicherten sie erstmals dieses Isotop dadurch an, daß sie Wasserstoff beim Tripelpunkt verdampften. Im Rückstand wurde dann der schwere Wasserstoff angereichert.

Bald nach dieser Entdeckung legten wir uns die Frage vor, ob eine Anreicherung des schweren Wasserstoffisotops auf andere Weise zu erreichen wäre. Wir versuchten zu diesem Zweck

1) M. Woodhead u. R. Wheythow-Gray, Journ. chem. Soc., July 1933 u. a.
2) W. R. Smythe, Phys. Rev. **45**, 5, 1934.
3) H. C. Urey, F. G. Brickwedde u. G. M. Murphy, Phys. Rev. **40**, 1, 1932.

festzustellen, ob bei der Diffusion durch Palladium das H-Atom mit der Masse 1 schneller diffundiere als dasjenige mit der Masse 2. Wäre dies der Fall, so müßte eine Anreicherung des schweren Isotops im Rückstand möglich sein.

Das Anreicherungsverfahren war demnach das folgende: In einen Glaskolben von etwa vier Liter Inhalt wurde axial ein gewendeltes, einseitig offenes Palladiumröhrchen angebracht, das von zwei in Ansatzstutzen eingekitteten, wassergekühlten Metallstücken, die auch als Stromzuführungen zur Heizung des Röhrchens dienten, getragen wurde. Das offene Ende des Röhrchens konnte an eine Luftpumpe angeschlossen werden. Der Kolben wurde evakuiert und mit möglichst reinem Wasserstoff von einer Atmosphäre gefüllt. Der Wasserstoff wurde dann durch das auf dunkle Rotglut geheizte Palladiumröhrchen bis auf einen Restdruck von etwa 1 mm Hg abgepumpt und der Gasrest mit einer Töplerpumpe in ein vorher evakuiertes kleineres Gefäß übergepumpt. Ein solcher Vorgang lieferte etwa 100 ccm der Gasprobe bei 4 bis 5 cm Hg Druck. Der Vorgang wurde mehrmals wiederholt, so daß eine hinlängliche Menge der Probe zur Verfügung stand.

Während der Anreicherungsversuche erschienen eine Anzahl von Untersuchungen, aus denen hervorging, daß häufig in gewöhnlichem Wasserstoff das Konzentrationsverhältnis $H^2:H^1$ wesentlich geringer war als 1:4000. Unseren heutigen Kenntnissen nach scheint in elektrolytisch hergestelltem Wasserstoff $H^2:H^1$ etwa 1:30000 zu sein. Dieses Ergebnis wurde erst bekannt, als die Herstellung unserer Probe bereits beendet war. Der von der Firma Linde bezogene Bombenwasserstoff, den wir benutzten, war leider ebenfalls durch Elektrolyse gewonnen. Die Bedingungen für eine gut nachweisbare Anreicherung waren demnach nicht günstig. Die Untersuchung der Probe erfolgte mit dem einleitend beschriebenen Massenspektrographen. Wegen der großen Intensität der H_2^+-Parabel, welche eine H^{2+}-Parabel vollständig überlagern würde, blieben nur zwei Wege. Es konnte erstens nach einer Verstärkung der Masse 3 $(H^1H^2)^+ + (H^1H^1H^1)^+$ in der Probe gegenüber der Masse 3 $(H^1H^1H^1)^+$ in gewöhnlichem Wasserstoff gesucht werden. Zweitens konnte die negative Parabel der Masse 2 untersucht werden. Nach den Erfahrungen von J. J. Thomson[1]) und R. Döpel[2]) fehlt zwar das negative Wasserstoffmolekül H_2^- in den Kanalstrahlen nicht völlig, ist aber offenbar nur sehr schwach vertreten, so daß eine Verstärkung der Masse 2 durch H^{2-} in der Probe jedenfalls zu erwarten war, da negative Wasserstoffatome reichlich auftreten. Dieser letzte Weg wurde auch bei den Anreicherungsversuchen von G. Hertz durch H. Lukanow und W. Schütze[1]) mit Erfolg beschritten. Negative Wasserstoffmoleküle waren bei ihren Versuchsbedingungen überhaupt nicht nachweisbar. Bei unseren Versuchen trat die positive Parabel der Masse 3 in gewöhnlichem Wasserstoff gelegentlich schon ziemlich stark auf, so daß hier die Untersuchungsbedingungen nicht sehr günstig waren. Die negative Molekülparabel trat in gewöhnlichem Wasserstoff bei langen Expositionszeiten zwar ebenfalls auf, aber nur mit so geringer Intensität, daß es möglich erschien, schon eine relativ geringe Überlagerung durch das Atom H^{2-} festzustellen.

Die ersten Aufnahmen ergaben in der Tat, daß die Intensität der negativen Parabel mit der Masse 2 relativ zu der Intensität der negativen Wasserstoffatomparabel in der Probe merklich größer war als in gewöhnlichem Wasserstoff. In gewöhnlichem Wasserstoff (elektrolytischer Bombenwasserstoff) verhielten sich die Expositionszeiten zur Erzielung gleicher Schwärzungen von H_1^- und der negativen Masse 2, die hier nur das negative Molekül sein kann, höchstens wie 1:2000, in der Probe dagegen mindestens wie 1:1000. Hieraus würde folgen, daß das Verhältnis von $\frac{H^2}{H^1}$ in der Probe mindestens $\frac{1}{2000}$ beträgt. Wenn der Gehalt im (elektrolytischen) Wasserstoff ursprünglich $\frac{1}{30000}$ war, so würde dies eine 15fache Anreicherung ergeben. Diese Zahl ist wahrscheinlich zu groß, weil der H^2-Gehalt im Wasserstoff, der aus Zellen, die schon länger in Gebrauch sind, entwickelt wird, auch größer sein kann als $\frac{1}{30000}$.

Um unter möglichst gleichen Reinheitsbedingungen zu arbeiten, haben wir auch Aufnahmen gemacht, bei denen einmal gewöhnlicher Wasserstoff, ein zweites Mal Wasserstoff aus der Probe durch heißes Palladium in das Entladungsrohr eingeleitet wurde. Eine wesentliche Entreicherung war hierbei nicht zu befürchten. Durch entsprechendes Heizen des Palladiumröhrchens konnten wir die Entladungsbedingungen sehr konstant halten. Alle Aufnahmen mit der Probe zeigten die negative Masse 2 stärker als die Aufnahmen mit reinem Wasserstoff. Fig. 8, 9, Tafel XI zeigen ein Beispiel.

Inzwischen sind folgende Untersuchungen über den gleichen Gegenstand erschienen: Nach

1) J. J. Thomson, Rays of Pos. Electricity.
2) R. Döpel, Ann. d. Phys. **76**, 1, 1925.

1) H. Lukanow u. W. Schütze, Zeitschr. f. Phys. **82**, 618, 1933.

A. und L. Farkas[1]) wird der Wirkungsgrad der Anreicherung durch die Rayleighsche Diffusionsformel für die Diffusion durch poröses Material, dessen Öffnungen klein sind im Vergleich zur mittleren freien Weglänge, gegeben. Für die Anreicherung im Rückstand gilt dann:

$$\frac{\left(\frac{H^2}{H^1}\right)_{\text{Ende}}}{\left(\frac{H^2}{H^1}\right)_{\text{Anfang}}} = q = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{s-1}{s}}$$

wobei p_1 und p_2 Anfangs- und Enddruck, s das Verhältnis der Diffusionsgeschwindigkeiten $\frac{v_{H^1}}{v_{H^2}}$ bedeutet. s ist nach ihnen nicht allgemein gleich dem reziproken Verhältnis der Quadratwurzeln aus den Massen, also hier $\sqrt{2} = 1{,}41$, sondern von der Glühtemperatur des Palladiums abhängig. Bei 150° soll $s = 1{,}5$, bei 300° 1,16, bei 400° nur mehr 1,05 und bei höheren Temperaturen praktisch 1 sein, so daß über einer Glühtemperatur von 300° praktisch keine Anreicherung mehr erfolgt. In einer früheren Notiz[2]) hatten sie sogar angegeben, daß bei Temperaturen über 150° eine Entreicherung eintritt. Aus der Kurve auf S. 477 der unter 1 zitierten Arbeit scheint allerdings hervorzugehen, daß Messungen nur zwischen 150° und 300° ausgeführt wurden und daraus auf das Verhalten bei noch höheren Temperaturen nur extrapolatorisch geschlossen wurde. Im Gegensatz hierzu finden L. Harris, W. Jost und R. W. B. Pearse[3]) sowie O. Luhr und L. Harris[4]) die obige Formel mit $s = \sqrt{2}$ bestätigt, obwohl sie bei einer Temperatur von nahe 400° diffundierten. Für unsere Versuche $\left(\frac{p_1}{p_2} \sim 800\right)$ würde für $s = \sqrt{2}$ eine siebenfache Anreicherung aus der Formel sich berechnen. Unsere nur rohe Schätzung, die eine etwa 15fache Anreicherung als möglich erscheinen ließ, steht hierzu nicht im Gegensatz. Unsere Temperatur betrug aber etwa 500°. Hinsichtlich der Temperaturabhängigkeit des Effektes widersprechen demnach die Angaben von A. und L. Farkas sowohl unserem Ergebnis als dem von Harris, Jost, Pearse und Luhr.

IV. Über eigentümliche Verhältnisse in den Heliumkanalstrahlen.

Endlich machen wir noch eine Bemerkung über eigentümliche Verhältnisse in den Heliumkanalstrahlen. Fig. 10, Tafel XI, zeigt zwei Aufnahmen. Die Aufnahme im oberen rechten Quadranten ist mit Sauerstoffkanalstrahlen gemacht. Die Parabeln sind von oben gezählt: $C^+, O^+, (OH)^+, (H_2O)^+, (CO)^+, O_2^+, (C_2O)^+, (CO_2)^+$. Bei den negativen Ionen findet man O^- und O_2^-.

Im linken oberen Quadranten haben wir eine Aufnahme mit möglichst reinen Heliumkanalstrahlen gemacht. Das Helium wurde mit Kohle und flüssiger Luft gründlich gereinigt und die Entladung längere Zeit vor der Aufnahme in Gang gesetzt. Man sieht im linken oberen Quadranten die Massen: He^+ mit einer Verlängerung nach dem Zentrum, herrührend vom He^{++}, das sich vor der Ablenkung in He^+ umgeladen hat, sehr stark C^+, schwach die Masse 13 und 14, sehr stark O^+, kein $(OH)^+$ oder $(H_2O)^+$ und keine Spur von O_2^+. Auf der negativen Seite ist nur O^- zu sehen. Es ist sehr auffällig, daß C^+ und O^+ im Heliumkanalstrahl sogar viel stärker sind als im Sauerstoffkanalstrahl, obwohl Entladungsspannung, Entladungsstrom und Expositionszeit möglichst die gleichen waren, dagegen O_2^+ im Heliumkanalstrahl gar nicht auftritt, obwohl es im Sauerstoff die zweitstärkste Parabel ist. Als wir diese Beobachtung schon gemacht hatten, erschien eine Notiz von Aston, in der er ebenfalls die große Intensität der Sauerstoffparabel im Helium hervorhebt. Unter seinen Versuchsbedingungen (vermutlich kugeliges statt zylindrisches Entladungsrohr) war aber auch das Sauerstoffmolekül im Helium sehr stark, während es bei uns nicht zu beobachten ist. Eine Erklärung für diese Beobachtungen an Heliumkanalstrahlen können wir nicht geben. Die zu dieser Aufnahme verwendete Schumannplatte war nicht sehr frisch, daher die wolkige Trübung des Untergrundes.

Herrn Prof. Dr. Walter Gerlach, dem Vorstand des Instituts, danke ich für das rege Interesse, das er der Arbeit entgegenbrachte. Vor allem bin ich aber Herrn Prof. Dr. E. Rüchardt, unter dessen spezieller Anleitung ich diese Untersuchungen ausführen durfte, für die Anregung zu dieser Arbeit, für sein stetes förderndes Interesse sowie für viele wertvolle Besprechungen und Ratschläge zu größtem Dank verpflichtet. Eine bei dieser Untersuchung verwendete Stahlpumpe wurde Herrn Prof. Rüchardt von der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft zur Verfügung gestellt, ebenso wie Mittel zur Beschaffung von photographischen Materialien. Wir sprechen hierfür unseren besten Dank aus. Die Firma Linde hat Heliumgas in freundlicher Weise kostenlos zur Verfügung gestellt, wofür wir ebenfalls bestens danken.

München, Physikalisches Institut der Universität. (Eingegangen 9. Juli 1934.)

1) A. u. L. Farkas, Proc. Roy. Soc. Lond. (A) **144**, 467, 1934.
2) A. u. L. Farkas, Nature **138**, 894, 1933.
3) L. Harris, W. Jost, R. W. B. Pearse, Proc. Nat. Acad. Amerika **19**, 991, 1933.
4) O. Luhr u. L. Harris, Phys. Rev. **45**, 843, 1934.

Zählrohrmessungen an Ultrastrahlungskorpuskeln.

Von Heinrich Maaß.

Einleitung.

Im Verlauf einer größeren Untersuchung über den Durchgang von Ultrastrahlungskorpuskeln durch Materie und die dabei auftretenden Sekundäreffekte ist ein Ergebnis erzielt worden, das eine Mitteilung gerechtfertigt erscheinen läßt, obwohl die Messungen noch nicht abgeschlossen sind.

Die Meßanordnung war die bekannte Anordnung von Bothe und Kolhörster[1]) mit zwei senkrecht übereinander liegenden Zählrohren in Koinzidenzschaltung, die Untersuchung knüpfte an einen Versuch von Rossi[2]) an, bei dem dieser eine Absorberschicht von 9,1 cm *Pb* abwechselnd zwischen oder über die Zählrohre brachte. Es ergibt sich hierbei bekanntlich ein Intensitätsunterschied, der daher rührt, daß bei zwischen den Zählrohren befindlichem Absorber die Schwächung der korpuskularen Ultrastrahlung gemessen wird – unter der Annahme, daß die Koinzidenzen von ein und derselben Korpuskel verursacht werden –, bei über den Rohren liegendem Absorber dagegen noch eine im Absorber entstehende Sekundärstrahlung zusätzliche Koinzidenzen hervorrufen kann.

Messungen.

Der Versuch von Rossi (l. c.) wurde erweitert, und zwar wurde die Dicke der Absorberschicht systematisch in Stufen variiert und die Untersuchung bis zu 18 cm *Fe* ausgedehnt.

Die Zählrohre hatten eine Länge von 170 mm und einen Innendurchmesser von 28 mm und einen konstanten Abstand von 210 mm voneinander. Der Absorber lag mit seiner Unterseite stets 20 mm über dem unter ihm befindlichen Zählrohr. In seiner Lage über den Zählrohren erfüllte er den gesamten von ihnen gebildeten Raumwinkel, so daß also die Absorberfläche mit wachsender Schichtdicke nach oben hin zunahm. Aus Kontrollmessungen wurde gefunden, daß über den von den Rohren gebildeten Raumwinkel hinausragende Teile des Absorbers innerhalb der Meßgenauigkeit auf die Zahl der Koinzidenzen keinen Einfluß hatten.

Der Verstärker mit Doppelgitterrohr zur Registrierung der Koinzidenzen war nach der von Bothe[1]) angegebenen Schaltung gebaut, das Auflösungsvermögen wurde in der gleichen Weise wie von Bothe zu $1{,}4 \cdot 10^{-3}$ sec bestimmt. Um die Zahl der zufälligen Koinzidenzen zu verringern, waren die Zählrohre unterhalb und seitlich des unteren Rohres durch 20 cm *Fe*, seitlich des oberen durch 10 cm *Fe* gepanzert.

Die Apparatur steht unter dem Hofe des Physikalischen Instituts im Keller. Die Betondecke besitzt dort eine Stärke von etwa 40 g/cm²; damit ergibt sich für die Lage der Apparatur eine Tiefe unter dem Scheitel der Atmosphäre von ungefähr 1015 g/cm², bei einem Normaldruck für München von 720 mm *Hg* oder 975 g/cm².

Bei den Messungen ergab sich die Schwierigkeit, daß die zu bestimmenden Intensitätsunterschiede von derselben Größenordnung werden konnten wie die Schwankungen der Ultrastrahlung selbst in Abhängigkeit vom Barometerstand und anderem. Um einen Gang im Meßergebnis auszuschalten, wurde deshalb die Schichtdicke häufig gewechselt, und es wurde gleichmäßig über alle Tageszeiten gemittelt. Um brauchbare Ergebnisse zu erhalten, mußte die Fehlergrenze als solche sehr heruntergesetzt werden; dies erforderte die Bestimmung eines jeden Meßpunktes durch eine große Zahl von Koinzidenzen. Die Messungen wurden in zwei Reihen ausgeführt, davon die erste, größere im Februar, eine zweite, ergänzende im Juni 1934. Es wurden insgesamt 45000 Koinzidenzen, für jeden Einzelpunkt im Mittel 2800 Koinzidenzen aufgenommen. Damit ergibt sich für die Messungen im Mittel ein statistischer Fehler von 1,9 Proz.

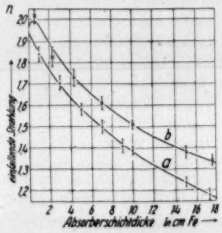

Fig. 1. Abnahme der Häufigkeit von Koinzidenzen in Abhängigkeit von der Absorberschichtdicke: a) mit Absorber zwischen den Rohren, b) mit Absorber über den Rohren.

Das Ergebnis ist in Fig. 1 zusammengestellt, die Tabelle gibt die einzelnen Meßwerte.

1) W. Bothe u. W. Kolhörster, Zeitschr. f. Phys. **56**, 751, 1929.
2) B. Rossi, Zeitschr. f. Phys. **68**, 64, 1931.

1) W. Bothe, Zeitschr. f. Phys. **59**, 1, 1929.

Tabelle.

Absorberschichtdicke in cm *Fe*	n = Anzahl von Koinzidenzen pro Minute	N = Anzahl der gezählten Koinzidenzen
a) Absorber zwischen den Zählrohren.		
0	1,94 ± 0,037	2705
1	1,84 ± 0,036	2628
3	1,705 ± 0,038	2039
5	1,58 ± 0,026	3772
7	1,50 ± 0,031	2270
9	1,41 ± 0,033	1786
10	1,39 ± 0,020	5173
15	1,24 ± 0,023	2900
17,3	1,18 ± 0,027	1948
b) Absorber über den Zählrohren.		
0	1,94 ± 0,037	2705
0,6	2,02 ± 0,042	2204
2,3	1,82 ± 0,044	1673
4,3	1,73 ± 0,039	2017
7	1,61 ± 0,032	2504
10	1,51 ± 0,018	7024
15	1,38 ± 0,030	2319
17,6	1,34 ± 0,027	2550

Ergebnisse.

1. Bei zwischen den Zählrohren liegendem Absorber zeigt sich eine Abnahme des korpuskularen Anteils der Ultrastrahlung, die in ihrem Verlauf stetig ist. Ein Vergleich mit Meßergebnissen von Bothe und Kolhörster (l. c.), Rossi (l. c.) und Heidecke[1]) ergibt gute Übereinstimmung, wenn die Lage der Apparatur mit 1015 g/cm² unter dem Scheitel der Atmosphäre berücksichtigt wird. Hinter 15 cm Eisen sinkt die Intensität auf 64 Proz. ab; 36 Proz. der Korpuskularstrahlung werden also im Eisen absorbiert. Auf Grund der Theorie des Energieverlustes für schnelle Korpuskeln von Heisenberg[2]) hat Flügge[3]) eine Formel für die Reichweite in Abhängigkeit von der Energie berechnet. Hiernach erfordert eine Reichweite von 15 cm Eisen ungefähr eine Mindestenergie von $3{,}5 \cdot 10^8$ e. Volt. 64 Proz. der korpuskularen Ultrastrahlung müssen somit eine größere Energie als $3{,}5 \cdot 10^8$ e. Volt besitzen. Dies ist in guter Übereinstimmung mit Meßergebnissen von Anderson, Millikan[4]) und ihren Mitarbeitern und Kunze[5]), wenn man bei den Aufnahmen von Kunze die positiven Korpuskeln als Positronen wertet. Millikan gibt an, daß 67 Proz. eine Energie über $3{,}5 \cdot 10^8$ e. Volt besitzen; bei Kunze zeigen von 69 Bahnen 46, d. h. gleichfalls 67 Proz., eine Energie über $3{,}5 \cdot 10^8$ e. Volt.

1) W. Heidecke, Tübinger Dissertation 1931.
2) W. Heisenberg, Ann. d. Phys. **13**, 430, 1932.
3) S. Flügge, Zeitschr. f. Phys. **85**, 692, 1933.
4) C. D. Anderson, R. A. Millikan, S. Neddermeyer u. W. Pickering, Phys. Rev. **45**, 352, 1934.
5) P. Kunze, Zeitschr. f. Phys. **83**, 1, 1933.

Andererseits ist nach den Untersuchungen von Millikan und seinen Mitarbeitern die Annahme, daß die Koinzidenzen stets von derselben Korpuskel verursacht werden, nicht mehr haltbar, vielmehr wäre die Möglichkeit eines doppelten Streuprozesses in Luft und in dem Absorber zu berücksichtigen. Dies würde eine schwächere Abnahme der Koinzidenzzahl mit wachsender Absorberdicke erwarten lassen. Die Genauigkeit des obigen Vergleichs ist aber in Anbetracht der kleinen Anzahl bisher magnetisch ausgemessener Bahnen zu gering, als daß man hieraus auf eine Differenz zwischen Messung und theoretischer Berechnung schließen müßte.

2. Die Intensität, die bei über den Zählrohren liegendem Absorber gemessen wurde, ist bei den jeweiligen Schichtdicken stets größer als bei zwischen den Rohren liegendem Absorber, wie es ja auch Rossi (l. c.) für den einen Meßpunkt von 9,1 cm *Pb* fand. Die Intensitätskurve deckt sich überdies sehr gut mit Ergebnissen von Steinke[1]), die dieser bei Intensitätsmessungen mit der Ionisationskammer erzielte.

Im folgenden sei nun an Stelle der beiden Intensitätskurven der Verlauf ihrer Differenz mit der Änderung der Absorberschicht betrachtet (Fig. 2).

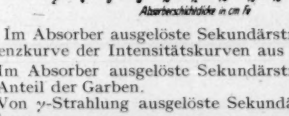

Fig. 2. Im Absorber ausgelöste Sekundärstrahlung (Differenzkurve der Intensitätskurven aus Fig. 1).
—×— Im Absorber ausgelöste Sekundärstrahlung
—·— Anteil der Garben.
——— Von γ-Strahlung ausgelöste Sekundärstrahlung.

Bis zu etwa 8 cm *Fe* zeigt sich ein Verlauf der im Absorber ausgelösten Sekundärstrahlung, wie ihn schon Rossi[2]) und auch Fünfer[3]) bei ihren Messungen mit Drei- und Fünffachkoinzidenzen gefunden haben: eine starke Zunahme bis zur Sättigungsdicke von etwa 2 cm *Fe* – Fünfer fand 2,5 cm *Fe* – und darauf eine langsame Abnahme. Als Hauptergebnis der vorliegenden Messungen ist nun festzustellen, daß von etwa 8 cm *Fe* ab die Sekundärstrahlung nicht weiter abnimmt, sondern daß beim Übergang zu größeren Dicken wieder eine Zunahme eintritt, die in Form eines gleichmäßigen Anstieges bis zu 18 cm *Fe* beobachtet wurde. Eine Ausdehnung zu noch größeren Dicken konnte bisher nicht vorgenommen werden, so daß noch

1) E. Steinke, Zeitschr. f. Phys. **48**, 647, 1928.
2) B. Rossi, Zeitschr. f. Phys. **82**, 151, 1933.
3) E. Fünfer, Zeitschr. f. Phys. **83**, 92, 1933.

unbekannt ist, wo das zu erwartende zweite Maximum liegt.

Um eine Erklärung dieses zweiten Anstieges versuchen zu können, ist es nötig, zuvor die Ursachen des ersten Maximums bei ungefähr 2 cm *Fe* und der darauf folgenden anfänglichen Abnahme der Sekundärstrahlung zu erörtern.

Die Deutung dieses „Buckels" ist nach zwei Richtungen hin möglich: Einerseits durch die von Rossi (l. c.) gemachte Annahme von Sekundärelektronen einer primären Korpuskularstrahlung, wobei entweder das Sekundärelektron beide Rohre oder Sekundär- und Primärelektron je ein Rohr durchsetzen. Solch ein Vorgang ist in Fig. 3 in der linken Absorberhälfte gezeichnet. Die Wahrscheinlichkeit einer solchen zusätzlichen Koinzidenz ist jedoch meines Erachtens nicht groß genug, um den Intensitätsanstieg von etwa 6 Proz. damit hinreichend zu erklären. Andererseits deuten die Messungen Fünfers (l. c.) auf das Auftreten von „Garben" hin, wie sie auch von Blackett und Occhialini[1]) mit einer Durchschnittsreichweite von 3 cm *Fe* beobachtet wurden und in einer Häufigkeit, die mit dem Intensitätsanstieg um etwa 6 Proz. der Primärintensität verträglich ist. Es erscheint die Annahme gerechtfertigt, daß der „Buckel" vorwiegend von dem Auftreten von „Garben" verursacht ist.

Über die Abnahme der Häufigkeit von Sekundärelektronen mit zunehmender Schichtdicke kann man aus einer Berechnung von Kunze (l. c.) Aufschluß erhalten. Hiernach muß für eine Primärenergie von $5 \cdot 10^8$ e. Volt ein Sekundärelektron mit einer Energie von $5 \cdot 10^7$ e. Volt entsprechend einer Reichweite von etwa 2 cm *Fe* unter einem kleineren Winkel als $8^1/_2{}^\circ$ gestreut werden. Weiß man nun einerseits die Energie, die ein Sekundärelektron erhalten muß, um die restliche Schicht des Absorbers und die Zählrohrwandung noch durchdringen zu können — etwa $2{,}5 \cdot 10^7$ e. Volt/cm *Fe* —, und berechnet man danach den maximalen Streuwinkel für $E_{\text{primär}} = 5 \cdot 10^8$ e. Volt, so kann für jede Schichtdicke der Bereich festgestellt werden, aus dem bei der gegebenen Primärenergie überhaupt Sekundär- und Primärelektron zusammen Koinzidenzen auslösen können. Dieser Bereich ist in Fig. 3 durch Schwärzung bezeichnet. Er ist für geringe Schichtdicken sehr breit und wird mit zunehmender Dicke schmaler, da der maximale Streuwinkel kleiner wird. Hieraus erhellt, daß sich die Erhöhung der Intensität im wesentlichen nur als Wirkung einer Sekundärelektronenstrahlung in den Schichten des Absorbers ergeben kann, die den Zählrohren zunächst liegen, daß also nach Erreichung des „Buckels" die Intensität der Sekundärstrahlung mit wachsender Absorberschicht proportional der Abnahme der korpuskularen Strahlung selbst abnehmen muß.

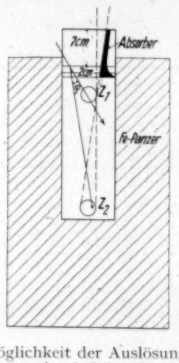

Fig. 3. Zur Möglichkeit der Auslösung zusätzlicher Koinzidenzen durch Sekundärelektronen.

Über den Abfall der Intensität der „Garben" liegt eine Untersuchung Johnsons[1]) vor, der auf Grund seiner Messungen in verschiedenen Höhen fand, daß die Abnahme der Häufigkeit von Garben rascher als die der Ultrastrahlung selbst erfolgt, und zwar mit einem Absorptionskoeffizienten von $0{,}5/m\ H_2O$.

Beide Erklärungen lassen also eine stetige Abnahme der Sekundärstrahlung erwarten, während die Messungen einen abermaligen Anstieg von etwa 8 cm *Fe* ab ergeben.

Zeichnet man nun den Verlauf der Abnahme der Sekundärstrahlung, wie er bei der Annahme von Garben als ihrer einzigen Ursache zu erwarten wäre (strichpunktierte Kurve in Fig. 2), so erhält man als Differenz zu der gemessenen Intensität eine restliche Sekundärstrahlung, die angenähert proportional der Absorberschichtdicke zunimmt.

Bei der Untersuchung, welche Ursachen hierfür in Betracht kommen, ergeben sich drei Möglichkeiten:

a) Sekundärelektronen,

b) Sekundärprozesse in Form von Garben großer Reichweite und

c) Existenz einer Ultra-γ-Strahlung.

Nun kommen jedoch Sekundärkorpuskeln einer primären Korpuskularstrahlung bei so großen Schichtdicken wegen des Winkelbereichs,

1) P. M. S. Blackett u. G. P. S. Occhialini, Proc. Roy. Soc. London (A) **139**, 699, 1933.

1) Th. H. Johnson, Phys. Rev. **45**, 569, 1934.

unter dem Primär- und Sekundärelektron zueinander laufen müßten, in einer solchen Häufigkeit nicht in Betracht.

Sekundärprozesse in der Art der Hoffmannschen Stöße fallen trotz ihrer großen Reichweite ihrer zu großen Seltenheit wegen als mögliche Ursache aus; wenn es sich hierbei um Garben von erheblich größerer Reichweite handeln sollte, so ist dazu zu bemerken, daß solche harten Garben in der Wilsonkammer bisher nicht beobachtet wurden.

Eine solche restliche Sekundärstrahlung ist jedoch zu erwarten, wenn man als Ursache eine γ-Strahlungskomponente der Ultrastrahlung annimmt, die mit zunehmender Absorberschichtdicke eine ungefähr nach einer Geraden anwachsende Zahl von Elektronen im Absorber auslöst, bis deren Reichweite überschritten ist. Unter der Annahme der Existenz einer mit Sekundärelektronen bereits beim Eintritt in die Atmosphäre gesättigten harten γ-Strahlung als primärer Ultrastrahlung hat bereits Rossi (l. c.) angegeben, daß eine von einer solchen harten γ-Strahlung ausgelöste Sekundärstrahlung mit zunehmender Schichtdicke etwa linear anwachsen müßte.

Eine solche Zunahme ist bei den Messungen gefunden worden. Die Art, wie diese restliche Sekundärstrahlung durch zweimalige Differenzbildung gewonnen wurde, läßt allerdings eine genauere Aussage über die Geradlinigkeit des Anstieges nicht zu. Es muß sogar die Möglichkeit offen gelassen werden, daß der Anstieg stärker als linear erfolgt. Dies würde eine Deutung schwieriger machen und mit einem Einzelprozeß wohl nicht zu erklären sein.

Die Ultra-γ-Strahlung, die als Ursache der restlichen Sekundärstrahlung angenommen wird, kann nun Elektronen nach zweierlei Prozessen auslösen: entweder im Comptonprozeß bzw. bei echter Absorption, wobei ein einzelnes Elektron herausgeschlagen wird, oder durch Schaffung von „Elektronenzwillingen", was eine Doppelbahn bedeuten würde. Bemerkenswert ist hier eine Messung von Ackemann[1]) und Hummel[2]). Diese benutzten die gleiche Anordnung: sie legten zwei Zählrohre horizontal nebeneinander und brachten über sie einen Absorber in der Weise, daß ein in diesem ausgelöstes Sekundärelektron nicht beide Rohre nacheinander treffen konnte. Ackemann und Hummel maßen so die Häufigkeit von Doppelbahnkoinzidenzen und fanden dabei ebenfalls einen erneuten Anstieg mit einem Maximum bei etwa 20 cm *Fe*. Es könnte sich hierbei um solche Elektronenzwillinge handeln. Daß der zweite Anstieg bei Ackemann und Hummel, verglichen mit dem ersten Buckel, nicht so ausgeprägt ist wie bei den vorliegenden Messungen, ist damit erklärt, daß bei ihren Ergebnissen die Einzelbahnkoinzidenzen fehlen. Millikan (l. c.) fand ein Verhältnis von Doppel- zu Einzelbahnen von 1 : 10. Unter der Voraussetzung, daß dies Verhältnis auch hinter 18 cm *Fe* noch gilt — Gegenteiliges ist nicht bekannt —, würde das eine recht gute Übereinstimmung dieser Beobachtungen mit den meinigen ergeben.

Neue Versuche zur Klärung dieser Fragen sind in Angriff genommen.

1) M. Ackemann, Naturwiss. **22**, 169, 1934.
2) I. N. Hummel, Naturwiss. **22**, 170, 1934.

Zusammenfassung.

Es wird das Ergebnis zweier Meßreihen mit Zählrohren in Zweifachkoinzidenz mitgeteilt. Es wurde hierbei die Intensität der Ultrastrahlung in Abhängigkeit von Absorberschichten untersucht, die abwechselnd über und zwischen die Zählrohre gelegt wurden. Als Differenz dieser beiden Messungen ergibt sich die bei über den Rohren liegendem Absorber in diesem ausgelöste Sekundärstrahlung, für die von einer Absorberschichtdicke von etwa 8 cm *Fe* ab eine erneute, gleichmäßige Zunahme gefunden wurde. Es wird versucht, diese Zunahme durch die Existenz einer Ultra-γ-Strahlung als Komponente der Ultrastrahlung zu erklären.

Die Anregung zu dieser Arbeit ging aus von Herrn Prof. Dr. H. Kulenkampff, dem ich für sein stetes Interesse sowie für die damit verbundene Förderung meiner Arbeit, im besonderen bei der Diskussion der Ergebnisse, meinen herzlichen Dank aussprechen möchte. Herrn Geheimrat Prof. Dr. J. Zenneck bin ich für die Bereitstellung der Mittel zu besonderem Danke verpflichtet, ferner der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft für die Beschaffung des Eisenpanzers.

München, Physikalisches Institut der Technischen Hochschule, den 20. August 1934.

(Eingegangen 23. August 1934.)

Plastizität und Mosaikstruktur bei gegossenen und bei rekristallisierten Metallen.

Von U. Dehlinger und F. Gisen.

In einer früheren Mitteilung[1]) wurde über vergleichende Verformungsversuche an Aluminium-Einkristallen berichtet, die einerseits aus dem Schmelzfluß, andrerseits durch Rekristallisation gewonnen waren; bei den letzteren ergab sich eine deutlich ausgeprägte Schubfestigkeit, die ersteren waren innerhalb der Meßgenauigkeit unendlich weich. Die dort mitgeteilten Versuche wurden nach zwei Richtungen hin erweitert:

1. Um den Einfluß des Reinheitsgrades näher zu untersuchen, wurde aus einem Material mit einem Aluminiumgehalt von 99,87 Proz. eine größere Zahl von Einkristallen nach den beiden in I beschriebenen Verfahren hergestellt. Ebenso wurde eine von der Firma L'Aluminium Français, Paris, bezogene Aluminiumsorte mit einem Gehalt von 99,998 Proz. untersucht. Der wesentlich höhere Reinheitsgrad der letzteren Sorte zeigte sich sehr deutlich am Verlauf der Rekristallisation; mit Hilfe einer systematischen Untersuchung dieses Verlaufs in Abhängigkeit von Verformungsgrad, Glühtemperatur und Glühdauer gelang es auch aus diesem Material durch Rekristallisation wie durch Gießen Einkristalle herzustellen[2]).

Die Verformungsversuche an beiden Aluminiumsorten zeigten die in I gefundenen Unterschiede in der Schubfestigkeit des rekristallisierten und des gegossenen Materials wieder sehr deutlich[3]). Das unmittelbar gegossene Material hat auch jetzt wieder keine merkbare Schubfestigkeit; nach den Versuchsbedingungen müßte eine solche sich zeigen, wenn sie größer als ungefähr 20 g/mm² wäre. Die dagegen am rekristallisierten Material sämtlicher Reinheitsgrade gemessenen Schubfestigkeiten sind in Fig. 1 zusammengestellt; wie man sieht, ist die Reproduzierbarkeit befriedigend. Die in I ausgesprochene Vermutung, daß diese Schubfestigkeiten mit abnehmendem Verunreinigungsgrad auf Null absinken, hat sich nach Fig. 1 nicht bestätigt; offenbar ist die Mosaikstruktur des rekristallisierten Zustands zum größten Teil stabil, auch wenn keine Verunreinigungen anwesend sind.

2. Die in I hauptsächlich aus kinetischen Überlegungen erschlossene Vermutung, daß die

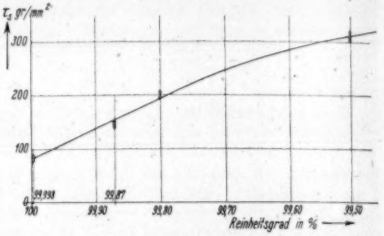

Fig. 1. Kritische Schubheftigkeit der rekristallisierten *Al*-Kristalle.

inneren Unterschiede zwischen gegossenem und rekristallisiertem Zustand von einer stärkeren Mosaikstruktur des letzteren herrühren, wurde unmittelbar durch Röntgenintensitätsmessungen bestätigt. Es wurden dazu Drehkristallaufnahmen mit Kupferstrahlung angefertigt, wobei die zylindrischen Kristalle seitlich angestrahlt wurden; die Einstellung wurde mit dem Fernrohr genau kontrolliert. Die einzelnen Reflexionspunkte auf den Aufnahmen wurden durchphotometriert und die Photometerkurven ausplanimetriert. In Fig. 2 sind die von verschiedenen gegossenen und rekristallisierten Kristallen bei möglichst gleich

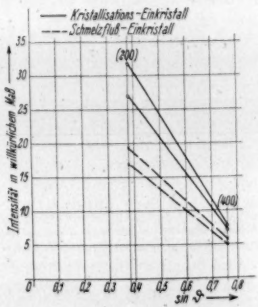

Fig. 2. Intensität der Drehkristallreflexionen (200) und (400) bei rekristallisierten und bei nur gegossenen *Al*-Stäben.

gehaltenen Belichtungsverhältnissen erhaltenen Intensitäten eingetragen. Man sieht zunächst, daß die Drehkristallaufnahmen der rekristallisierten Kristalle durchweg intensiver sind als die

1) U. Dehlinger, Physik. Zeitschr. **34**, 836, 1933. Im folgenden als I zitiert.

2) Genauere Beschreibung in der später erscheinenden Dissertation von F. Gisen.

3) Inzwischen hat auch M. O. Kornfeld, Physik. Zeitschr. d. Sowjetunion **5**, 185, 1934 an deformierten *Al*-Einkristallen durch Messung der Fließgrenze festgestellt, daß die Einflüsse der vorhergehenden Verformung beim Glühen nicht vollständig verschwinden.

der gegossenen, was einer kleineren Extinktion und daher stärkeren Mosaikstruktur des rekristallisierten Materials entspricht. Bekanntlich schwächt die Extinktion die Punkte mit kleinem Braggschen Winkel stärker als die mit großem[1]); daher ist die Neigung der in Fig. 2 eingezeichneten Geraden, die den Intensitätsunterschied zwischen den Punkten mit großem und den mit kleinem Braggschen Winkel angeben, für die rekristallisierten Kristalle wesentlich größer als für die gegossenen. Der prozentuelle Unterschied der Neigungen, d. h. die Differenz der Richtungstangenten der Geraden in Fig. 2 beim rekristallisierten und beim gegossenen Kristall, dividiert durch die kleinere der Richtungstangenten, schwankte bei den einzelnen Kristallorientierungen zwischen 38 und 45 Proz.; diese Schwankung erscheint in Anbetracht der Schwierigkeiten photographischer Intensitätsmessungen an verschiedenen Kristallen sehr gering. Durch eine Reihe von Kontrollaufnahmen wurde gezeigt, daß diese Zahl, wie zu erwarten war, von Unterschieden in den Belichtungsverhältnissen solange unabhängig ist, als die Schwärzung den linearen Teil der Schwärzungskurve nirgends überschreitet. Ebenso erwies sie sich als unabhängig von der Einstellung und der Blendenform, wenn nur die zu vergleichenden Kristalle mit dem Fernrohr in dieselbe Einstellung gebracht wurden. Ebenso zeigten sich die Unterschiede bei Aufnahmen mit Molybdänstrahlung. Die Messungen wurden an denselben Kristallen vorgenommen, die auch zu den Zerformungsversuchen benützt wurden; die Oberfläche wurde stets mehr oder weniger stark abgeätzt, Unterschiede infolge des Ätzens zeigten sich nicht.

Mit diesen Versuchen ist wohl nachgewiesen, daß rekristallisierte Aluminiumkristalle eine wesentlich stärkere Mosaikstruktur als gegossene besitzen. Da sich bei den weichen Metallen Spaltflächen nicht herstellen lassen, kann eine Absolutmessung der Extinktion und damit der Mosaikstruktur vorläufig nicht ausgeführt werden; dagegen hat M. Renninger[2]) bei gegossenen Steinsalzkristallen durch solche Messungen gefunden, daß diese in nicht zu großen Bereichen mit großer Annäherung ein ideales Gitter besitzen. Da nach unsern Beobachtungen die Ausbildung der Mosaikstruktur von der Herstellungsart des Kristalls abhängt und da die Vorgänge bei der Erstarrung von Steinsalz kaum verschieden von denjenigen bei der Erstarrung von Metallen sein werden, ist auch für unsere gegossenen Aluminiumkristalle ein annähernd ideales Gitter anzunehmen.

Zusammenfassung der Ergebnisse der vorliegenden und früherer Untersuchungen an Kristallen:

a) Rekristallisierte Körner, die sich, wie man aus ihrer Fähigkeit, weiterzuwachsen, erkennt, noch nicht im vollen thermodynamischen Gleichgewicht befinden, besitzen eine wesentlich stärkere Mosaikstruktur als gegossene, unverformte Körner.

b) Nach Untersuchungen an Aluminium hat diese Mosaikstruktur eine deutlich ausgeprägte Schubfestigkeit der rekristallisierten Kristalle zur Folge, die mit abnehmendem Verunreinigungsgrad stetig abnimmt, aber nicht nach Null geht.

c) Gegossene Kristalle von Aluminium, bei welchen nach unsern Messungen die Mosaikstruktur wesentlich kleiner, wenn nicht, wie aus den Messungen an Spaltflächen von gegossenen Steinsalzkristallen zu schließen ist, verschwindend klein ist, haben eine Schubfestigkeit, die sicher geringer als 20 g/mm² ist. Die Mosaikstruktur wirkt also stark verfestigend.

d) Auch Verunreinigungen bis zu 0,5 Proz. bringen im gegossenen Aluminium keine merkbare Schubfestigkeit hervor.

e) Auch die ebenfalls flächenzentriert kubischen Metalle *Cu*, *Ag*, *Au* besitzen im gegossenen Zustand keine merkbare Schubfestigkeit, auch wenn kleine Mengen von Beimengungen anwesend sind[1]). Größere Mengen von Fremdatomen, die in Lösung gehen, ergeben eine Schubfestigkeit, die zunächst annähernd proportional dem Gehalt an Fremdatomen ist.

f) Dagegen besitzen Kristalle von Metallen, deren Gitter durch homöopolare Einflüsse seine hohe Symmetrie und Koordinationszahl verloren hat, z. B. von Zinn, auch im gegossenen Zustand und auch wenn sie die höchste erreichbare Reinheit haben, eine größere Schubfestigkeit[2]). Schließlich ist der streng homöopolar gebundene[3]) Diamant mindestens annähernd unverformbar.

Die grundsätzliche Fragestellung aller physikalischen Untersuchungen über Festigkeit usw. von Kristallen ist: Welche Festigkeit hat das im vollständigen thermodynamischen Gleichgewicht befindliche Gitter der reinen Elemente und Verbindungen bei den einzelnen Bindungsarten? Da man das thermodynamische Gleichgewicht im festen Körper niemals vollständig erreichen und unendlich reine Stoffe nicht herstellen kann, ist

1) Siehe z. B. W. Ehrenberg und K. Schäfer, Physik. Zeitschr. **33**, 97, 1932.
2) M. Renninger, Naturwiss. **22**, 334, 1934.

1) E. Osswald, Zeitschr. f. Phys. **83**, 55, 1933.
2) Siehe U. Dehlinger, Erg. d. exakt. Naturwiss. **10**, 264, 1931.
3) F. Hund, Zeitschr. f. Phys. **74**, 1, 1932.

zur Beantwortung dieser Frage immer eine gewisse Extrapolation nötig. Nach dem vorhergehenden scheint diese Extrapolation für die in gegossenen Einkristallen gefundene Schubfestigkeit möglich zu sein und ergibt für die hochsymmetrischen Metalle mindestens bei Zimmertemperatur die Schubfestigkeit Null.

Die zweite Frage ist nun: Wieweit nähert sich der Gleichgewichtszustand dem idealen, streng regelmäßig gebauten Gitter? Die sicherlich einfachste Antwort ist, daß das ideale Gitter selbst den Gleichgewichtszustand darstellt. Bekanntlich werden aber gegen diese Annahme Einwände erhoben, die sich, soweit sie sich überhaupt auf den Gleichgewichtszustand beziehen, darauf stützen, daß das ideale Gitter nach der klassischen Mechanik eine sehr viel höhere Festigkeit haben müßte, als für den Gleichgewichtszustand gefunden wurde. Der oben dargestellte Zusammenhang zwischen Bindungsart und Schubfestigkeit deutet nun aber darauf hin, daß die letztere mit den Bindungselektronen zusammenhängt und dann nur quantenmechanisch zu verstehen ist, so daß auf Grund der klassischen Mechanik erhobene theoretische Einwände nicht mehr als stichhaltig betrachtet werden können. So wird man als einfachste Zusammenfassung der bei den Elementen gefundenen Schubfestigkeitsverhältnisse folgendes annehmen können: Das ideale Gitter der hochsymmetrischen Metalle ist unendlich weich (vielleicht abgesehen von dem mit wachsender Kristallgröße verschwindenden Einfluß der Oberflächenvergrößerung). Jede Störung des idealen Gitterbaus, z. B. Einlagerung von Fremdatomen, Mosaikstruktur, bringt eine Verfestigung mit sich, ebenso entsteht beim allmählichen Übergang zur homöopolaren, lokalisierten Bindung eine endlich große Schubfestigkeit, die bei rein homöopolarer Bindung unendlich groß wird.

Der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft und dem Ingenieurdienst des Württembergischen Bezirksvereins des VDI. ebenso wie Herrn Professor Glocker danken wir für die Unterstützung der Arbeit.

Stuttgart, Röntgenlaboratorium an der Technischen Hochschule.

(Eingegangen 3. August 1934.)

Das Tropfengewicht als Funktion der Tropfgeschwindigkeit und des Durchmessers der Tropffläche.

Von Ad. Adler.

Quantitative Versuche über Tropfenbildung können nur in Frage kommen bei langsamem Ausfließen der Flüssigkeit unter sukzessiver Tropfenbildung und bei kreisförmiger Abtropffläche. In allen übrigen Fällen sind die Verhältnisse so unklar und unbestimmt, daß von einer gesetzesmäßigen Erfassung nicht die Rede sein kann. Die Kernfrage ist die nach dem Tropfengewicht. Als Argumente, von denen dieses eine Funktion ist, kommen in Betracht

1. die Temperatur,
2. die Tropfgeschwindigkeit,
3. der Durchmesser der Abtropffläche.

§ 1. Das Tropfengewicht als Funktion der Tropfgeschwindigkeit.

Die Abhängigkeit des Tropfengewichtes von der Temperatur ist als linear bekannt[1]). Dagegen ist die Abhängigkeit von der Tropfgeschwindigkeit noch nicht klargestellt. Sie mathematisch zu erfassen, ist noch nicht versucht worden und dürfte unmöglich sein. Es bleibt nur der eine Weg der empirischen Erfassung. Versuchsergebnisse darüber sind in der Literatur nur spärlich und vereinzelt zu finden, ein zusammenhängender Funktionsverlauf überhaupt nicht. Die wenigen Daten, die Th. Lohnstein in seiner „Theorie des Abtropfens“[2]) – meines Wissens der jüngsten Arbeit über dieses Thema – nach Durchsuchung der Literatur von Eschbaum, Hagen, Frankenheim wiedergibt, dürften wohl das gesamte bekannte Zahlenmaterial darstellen.

Hierdurch angeregt, untersuchte ich systematisch die in Frage stehende Abhängigkeit bei Wasser (zweimal dest.), Benzol, Methylalkohol und Äther. Die Messungen erstrecken sich auf rund 40000 Tropfen.

Es seien zunächst die Daten wiedergegeben, die Lohnstein zitiert. F. Eschbaum[3]) hat bei Wasser beobachtet (Durchmesser der Tropffläche ist nicht angegeben; siehe Fig. 1):

1) G. Timberg, Wied. Ann. **30**, 545, 1887.
2) Ann. d. Phys. **20**, 237, 606, 1906; **22**, 776, 1907.
3) F. Eschbaum, Ber. d. dtsch. Pharm. Ges. S. 98, 1900; zit. von Lohnstein, Ann. d. Phys. **20**, 608, 1906.

Tropfgeschwindigkeit (sec)	0,50	0,60	1,00
Tropfengewicht (mg)	100,80	100,20	98,18

E. Hagen[1]) erhielt bei den Abtropfgeschwindigkeiten von $\frac{3}{4}$, 1, $\frac{2}{3}$ Sekunden Tropfengewichte im Verhältnis 1:1,024:1,045. Frankenheim[2]) hat für Wasser ermittelt, daß, während das Abtropfintervall von 3,76 auf 0,79 sec abnimmt, die relative Tropfengröße von 1,00 auf 1,55 zunimmt. Bei Weingeist fand er bei einer Abnahme der Tropfgeschwindigkeit von 1,67 auf 0,37 sec die relativen Gewichte 1,00 und 1,76.

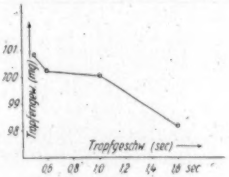

Fig. 1.

Der Apparat, den ich bei der Ausführung der Untersuchung benutzte, ist in Fig. 2 wiedergegeben[3]). Der Hahn Z mit Bohrung dient zum Abstellen des Zuflusses, der Hahn T zur Regelung der Tropfgeschwindigkeit. Letzterer hat keine Bohrung, sondern eine keilförmige Rinne auf dem Mantel, wodurch innerhalb gewisser Grenzen jede Tropfgeschwindigkeit ermöglicht

Fig. 2.

wird. K ist das auswechselbare Ausflußrohr von 1 mm Bohrung mit der Abtropffläche von 5,0; 6,0; 8,0; 9,4; 10,8; 15,9 mm Durchmesser. Bei schweren Tropfen wurden je 50, bei leichteren je 100 und 200 gezählt. Die Zeit wurde mit einer Junghans-Stoppuhr gemessen. Die zur Vermeidung von Versuchsfehlern nötigen Vorsichtsmaßregeln wurden sorgfältig getroffen, nämlich: Reinhaltung der Flüssigkeiten und Apparate; Senkrechtstehen der Abtropfröhren; gute Benetzung an den Abtropfflächen; beim Wechsel

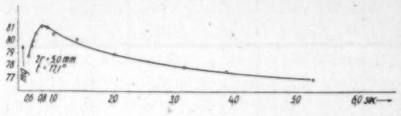

Fig. 3.

der Flüssigkeiten Spülung mit verdünnter Salpetersäure, Chromschwefelsäure, destilliertem Wasser und der Versuchsflüssigkeit; Beseitigung von Luftbläschen an der Ausflußöffnung. Wenn Bläschen auftraten, wurde die Messung unterbrochen oder ganz fallen gelassen.

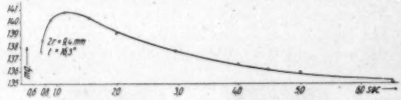

Fig. 4.

Die graphische Aufzeichnung der bei Wasser gefundenen Wertepaare ergab nun folgendes Bild: Bei den ersten fünf Tropfflächen steigt die Kurve anfangs steil an, kehrt um und fällt langsam ab in asymptotischer Annäherung an einen gewissen Endwert. Der Gesamtverlauf ist bei

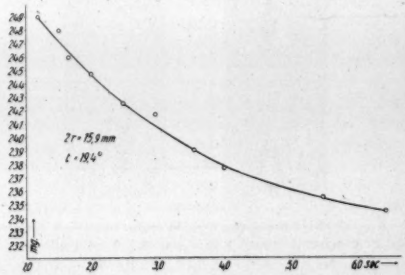

Fig. 5.

diesen fünf Kurven der gleiche, nur verschiebt sich mit wachsendem Durchmesser der Tropffläche die Umkehrstelle nach rechts. Die Tropffläche $2r = 15{,}9$ mm liefert keinen aufsteigenden Teil, sondern hier verläuft die Funktion monoton, anfangs rasch, dann langsam abfallend. Die folgenden Tabellen und Fig. 3 bis 5

1) E. Hagen, Abh. d. Berl. Akad. 1845; zit. von Lohnstein, a. a. O.

2) Frankenheim, Lehre von der Kohäsion, Breslau 1835; zit. von Lohnstein, Ann. d. Phys. **22**, 776, 1907.

3) Vgl. Ph. Lenard, Sitz.-Ber. d. Heidelberg. Akad. 18. Abh., S. 10, 1910.

geben die Versuchsergebnisse für die Tropfflächen $2r = 5{,}0$; 9,4; 15,9 mm wieder.

Tropfgeschwindigkeit sec	Tropfengewicht mg	Tropfgeschwindigkeit sec	Tropfengewicht mg	Tropfgeschwindigkeit sec	Tropfengewicht mg
0,57	78,87	0,74	137,55	1,18	249,00
0,62	79,67	0,77	138,50	1,51	247,94
0,65	80,05	0,91	140,15	1,66	245,96
0,70	80,65	1,15	140,80	1,75	245,80
0,80	81,30	1,55	140,30	2,04	244,70
0,88	81,25	2,05	139,10	2,47	242,50
1,02	80,65	2,95	137,65	2,96	241,74
1,38	80,15	4,00	136,55	3,54	239,00
2,05	79,05	4,47	136,10	4,05	237,70
3,14	78,00	5,06	135,90	5,43	235,50
3,85	77,60	6,50	135,10	6,41	234,44
5,25	77,00			8,33	232,40

Dasselbe Verhalten wie Wasser zeigten im wesentlichen die drei übrigen Versuchsflüssigkeiten; Abweichungen bestanden nur darin, daß bei Benzol und Äther nur die vier ersten Tropfflächen und bei Methylalkohol nur die drei ersten Tropfflächen einen aufsteigenden Teil aufwiesen.

Wenn man annimmt, daß bei rascher Tropfenfolge infolge der kinetischen Energie Wasserteilchen aus der Röhre mitgerissen werden (Nebentropfen, die dann nicht zum eigentlichen Tropfen gehören), so wäre bei abnehmender Tropfgeschwindigkeit eine ständige Abnahme des Tropfengewichtes zu erwarten. Dies trifft tatsächlich zu bei den größten Tropfflächen (Fig. 5). Die Abnahme der Nebentropfen bei abnehmender Tropfgeschwindigkeit wurde durch stroboskopische Beobachtung und photographische Momentaufnahmen bei allen Versuchsflüssigkeiten festgestellt. Fig. 6 zeigt die Nebentropfen von Wasser bei einer Tropfgeschwindigkeit von 1,1 und 5,0 sec.

Anders sind die Verhältnisse bei den mittleren und kleinen Tropfflächen. Auch da nehmen die Nebentropfen ab, wie die Aufnahmen an Wasser (Fig. 7) zeigen. Aber die Nebentropfen sind so gering und klein, daß sie keinen merklichen Einfluß auf das Tropfengewicht haben, zumal bei den kleinsten Tropfflächen. Der aufsteigende Teil der Kurve ist allein dem Verhalten des Haupttropfens zuzuschreiben. Dies aber näher zu erklären, dafür fehlen jegliche Anhaltspunkte.

Als wichtigstes Ergebnis liefert uns die Untersuchung einen Fingerzeig für die Tropfengewichtsmethode bei der Bestimmung der Oberflächenspannung. Die Tropfengewichtsmethode verlangt ein relativ langsames Abtropfen[1]). Die Kurven zeigen uns nun, welche Tropfgeschwindigkeit bei den einzelnen Tropfflächen zur Erzielung guter Resultate ungefähr zu nehmen ist, nämlich jene, bei der sich die Kurven den Endwerten nähern. Sie sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

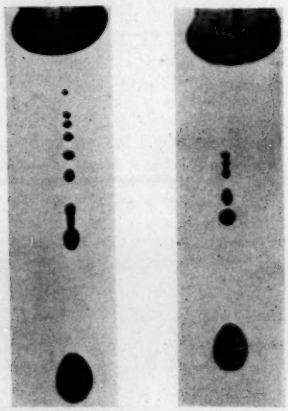

Fig. 6. Nebentropfen von Wasser bei einer Tropfgeschwindigkeit von 1,1 und 5,0 Sekunden. Tropffläche: $2r = 15{,}9$ mm.

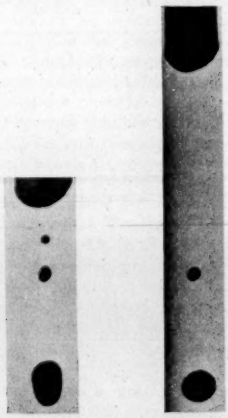

Fig. 7. Nebentropfen von Wasser bei einer Tropfgeschwindigkeit von 0,8 und 4,1 Sekunden. Tropffläche: $2r = 9{,}4$ mm.

1) Vgl. Zeitschr. f. phys. u. chem. Unt. 44, 65, 1931.

Tropfgeschwindigkeit.

$2r$ (mm)	Tropfgeschwindigkeit (sec)			
	Wasser	Benzol	Methylalkohol	Äther
5,0	5,0	2,0	2,0	1,5
6,0	5,0	3,0	2,5	2,5
8,0	6,0	4,0	3,5	3,0
9,4	6,0	4,5	3,5	4,5
10,8	6,0	4,5	3,5	4,5
15,9	6,5	6,0	6,0	5,0

§ 2. Das Tropfengewicht als Funktion des Durchmessers der Tropffläche.

Die Abhängigkeit des Tropfengewichtes vom Durchmesser der Tropffläche ergibt sich sofort aus den Tropfengewichten des § 1. Man braucht ja nur bei den verschiedenen Tropfflächen die zu gleichen Tropfgeschwindigkeiten gehörigen Gewichte aus den Kurvenbildern abzulesen. Für Wasser sind die so gewonnenen Wertepaare in Fig. 8 wiedergegeben.

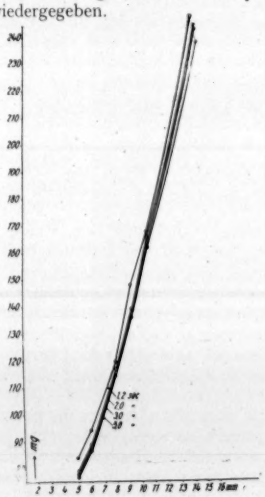

Fig. 8.

Es seien auch hier zum Vergleich die von Lohnstein angeführten Daten wiedergegeben, bei denen allerdings keine Tropfgeschwindigkeit angegeben ist:

$2r$ (mm)	1,70	2,48	4,05	5,06	6,63	11,41
Tropfengewicht (mg)	29,6	42,4	66,0	79,5	100,0	190,0

Zum Vergleich können nur die drei letzten Wertepaare herangezogen werden. Sie fügen sich gut in die Werte der Fig. 8 ein.

Bad Driburg, Gymnasium, Dringenberger Straße.

(Eingegangen 3. August 1934.)

Gilt auf der rotierenden Scheibe die nichteuklidische Geometrie?

Von Walter Glaser.

Die meisten dürften wohl ohne Bedenken auf obige Frage mit „ja" antworten. Denn die rotierende Scheibe bildet doch nach Einstein[1]) gerade das Musterbeispiel, um die Notwendigkeit der nichteuklidischen Geometrie bei beschleunigten Systemen zu beweisen. Auf Grund der Überlegung, daß ein tangential angelegter Maßstab in seiner Längsrichtung eine Lorentzkontraktion erleiden muß, ein radial angelegter Maßstab jedoch, da er sich transversal bewegt, ungeändert bleibt, wird bekanntlich geschlossen, daß das Verhältnis von Umfang zu Radius nicht π, sondern für die rotierende Scheibe größer als π sein muß, hier also unmöglich die euklidische Geometrie gelten kann. Diese Schlußweise ist von fast allen Lehrbüchern über allgemeine Relativitätstheorie übernommen worden und sie findet sich, angefangen bei Born[2]) und Laue[3]), bis zu Thirring[4]) und anderen. Der Satz, daß auf der rotierenden Scheibe die nichteuklidische Geometrie gilt, gehört gleichsam zu den unverrückbaren Dogmen der allgemeinen Relativitätstheorie und er wird auch meist in den Anfangsvorlesungen über diesen Gegenstand gebracht.

Nun läßt sich jedoch, wie schon öfters bemerkt wurde[5]), streng genommen die obige Schlußweise mit der Lorentztransformation nicht auf ein beschleunigtes System, wie es die rotierende Scheibe ist, anwenden. Die Maßstabkontraktion in der obigen Form kann doch nur für Maßstäbe behauptet werden, die sich ohne Einwirkung von Beschleunigungen in Inertialsystemen bewegen. Im vorliegenden Fall aber muß beim Ausmessen des Umfanges und des Radius der Maßstab notwendig gegen die Wirkung der Zentrifugalbeschleunigung festgehalten werden, er kann also keine „natürliche", „geodätische" Bahn im Raume beschreiben, was bekanntlich die Voraussetzung für die Anwendung der Formeln aus der speziellen Relativitätstheorie ist. Die obige Schlußweise kann also nur eine angenäherte Gültigkeit beanspruchen. Wenn eine strengere Behandlung des Problems der

1) A. Einstein, Vier Vorlesungen über Relativitätstheorie, Princeton 1922.

2) M. Born, Relativitätstheorie, Berlin 1920.

3) M. v. Laue, Allgemeine Relativitätstheorie, Braunschweig 1921.

4) H. Thirring, in Geiger-Scheel, Handb. d. Phys., Bd. IV, Berlin 1929; Ergebnisse der ex. Naturwissenschaften, Bd. I, Berlin 1922.

5) Zum Beispiel A. Eddington, Mathematica Theory of Relativity, Cambridge 1923.

rotierenden Scheibe zu einem davon abweichenden Ergebnis führt, ist damit die Unhaltbarkeit der angeführten Überlegungen bewiesen.

Es ist klar, daß das vierdimensionale Linienelement, das der rotierenden Scheibe (r. Sch.) entspricht, kein nichteuklidisches sein kann. Wie alle „Trägheitsfelder" ist natürlich auch das durch die Rotation der Scheibe hervorgerufene „scheinbare Gravitationsfeld" der Corriolis- und Zentrifugalkräfte durch entsprechende Wahl der Raum-Zeitkoordinaten wegzutransformieren, d. h. mit anderen Worten, man kann das Linienelement im Vierdimensionalen immer auf die Gestalt $ds^2 = dt^2 - (dx^2 + dy^2 + dz^2)$ bringen. Die vierdimensionale Raum-Zeitmannigfaltigkeit, die der r. Sch. entspricht, hat also sicher verschwindenden Krümmungstensor, sie ist eine euklidische. Das ist a priori klar, denn alle Trägheitsfelder haben diese Eigenschaft, das Kraftfeld wird hier – wie man sagen könnte – nur durch die besondere Wahl der Koordinaten „vorgetäuscht". Nun könnte es aber so sein, daß zwar im vierdimensionalen der Krümmungstensor verschwindet, daß aber für den zweidimensionalen Schnitt, wie ihn die r. Sch. darstellt, die Krümmung von Null verschieden ist. Das ist offenbar der Sinn, der mit der obigen Behauptung gemeint ist. Dies setzt zweierlei voraus:

1. Das Weltlinienelement, das der r. Sch. entspricht, muß sich in Raum und Zeit aufspalten lassen, und
2. Der abgespaltene räumliche Anteil muß nichteuklidische Struktur haben.

Nur wenn wir wirklich den Krümmungstensor dieses räumlichen Linienelementes berechnen können, ist mit der Aussage, auf der Scheibe herrsche eine bestimmte Geometrie, ein wohldefinierter Sinn zu verbinden. Wenn wir also zeigen, daß schon die erste Voraussetzung unzutreffend ist, sich also das Linienelement durch eine bestimmte Wahl der Koordinaten auf der r. Sch. nicht auf „statische Gestalt" bringen läßt, ist damit die Unzulässigkeit der üblichen Behauptung über die Gültigkeit der nichteuklidischen Geometrie bewiesen.

Wir gehen aus von dem Linienelement

$$ds^2 = dt'^2 - (dx'^2 + dy'^2 + dz'^2), \qquad (1)$$

das sich auf ein Inertialsystem, die „ruhende Scheibe", bezieht. Einführung von Polarkoordinaten

$$\left.\begin{aligned} x' &= r' \cos \vartheta', \\ y' &= r' \sin \vartheta' \end{aligned}\right| \qquad (2)$$

ergibt

$$ds^2 = dt'^2 - (dr'^2 + r'^2 d\vartheta'^2 + dz'^2). \qquad (3)$$

Durch die Gleichungen

$$r = r',\ \vartheta = \vartheta' - \omega t,\ z = z',\ t = t' \qquad (4)$$

transformieren wir nun auf die mit konstanter Winkelgeschwindigkeit ω rotierende Scheibe. Während sich die Größen ϑ und r auf die r. Sch. beziehen, gilt dies keineswegs von t. t bedeutet auch im transformierten Linienelement

$$\left.\begin{aligned} ds^2 = (1 - r^2\omega^2)\,dt^2 - 2r^2\omega\, d\vartheta\, dt \\ - (dr^2 + r^2 d\vartheta^2 + dz^2) \end{aligned}\right| \qquad (5)$$

die Zeit im ruhenden System, die an hier befindlichen ruhenden Uhren abgelesen wird. Der Einfachheit halber setzen wir im folgenden

$$\omega = 1,\ dz = 0,\ \ t = x_0,\ \vartheta = x_1,\ r = x_2 \qquad (6)$$

und erhalten so für das Weltlinienelement der r. Sch.

$$ds^2 = (1 - x_2^2)\,dx_0^2 - x_2^2\, dx_0\, dx_1 - (x_2^2\, dx_1 + dx_2^2). \qquad (7)$$

Darüber, was die Koordinaten x_0, x_1, x_2 für die r. Sch. bedeuten, können wir keine Aussage machen, da in (7) auch gemischte Glieder der Form $g_{01}\, dx_0\, dx_1$ vorkommen. Wir wissen nur, daß (7) eine quadratische Form von einer positiven und zwei negativen Dimensionen ist. Wenn wir sie auf Hauptachsen bringen, und wir können dies in jedem Punkte tun, dann erhalten wir lineare Beziehungen zwischen den Koordinatendifferentialen dx_0, dx_1, dx_2 und denen im Hauptachsensystem. Die negativen Dimensionen im Hauptachsensystem sind dann räumliche, die positive ist dann eine zeitliche Koordinatendifferenz. Dies gilt allgemein für ein beliebiges Linienelement $ds^2 = g_{ik}\, dx_i\, dx_k$, wie es in der allgemeinen Relativitätstheorie auftritt. Es ist dies die bekannte Tatsache, daß es immer möglich ist, ein lokales („frei fallendes") Inertialsystem einzuführen. In unserem Fall ist diese Einführung im ganzen Raume möglich, denn (7) ist ein vierdimensionales euklidisches Linienelement. Die Einführung des lokalen Inertialsystems ist hier mit der Transformation auf die ruhende Scheibe gleichbedeutend und ist eine Transformation in der vierdimensionalen Mannigfaltigkeit. Zum Unterschiede davon wollen wir nun auf der r. Sch. bleiben und hier eine Transformation der Gestalt

$$\left.\begin{aligned} x_0 &= \psi(\eta_0, \eta_1, \eta_2) \\ x_1 &= \varphi(\eta_1, \eta_2) \qquad \varphi_1\chi_2 - \varphi_2\chi_1 \neq 0,\ \psi_0 \neq 0 \\ x_2 &= \chi(\eta_1, \eta_2) \end{aligned}\right| \qquad (8)$$

suchen, die das Linienelement (7) auf „statische" Gestalt

$$\left.\begin{aligned} ds^2 &= f\,d\eta_0^2 \\ &\quad -(\gamma_{11}\,d\eta_1^2 + 2\gamma_{12}\,d\eta_0\,d\eta_1 + \gamma_{22}\,d\eta_2^2) \\ &= f\,d\eta_0^2 - d\sigma^2 \end{aligned}\right| \quad (9)$$

bringt. In diesem Falle können wir von einer bestimmten Raumstruktur, mit dem Linienelement $d\sigma^2 = \gamma_{ik}\,d\eta_i\,d\eta_k$, sprechen, η_0 dürfen wir als die Zeit auf der r. Sch. betrachten, und diese Zeit η_0 läßt sich aus den Gleichungen der geodätischen Linien eliminieren[1]). Wir müssen voraussetzen, daß die zweidimensionale Koordinatentransformation $x_1 = \varphi$, $x_2 = \chi$ eine von Null verschiedene Funktionaldeterminante besitzt, denn nur dann sind ja die beiden letzten Gleichungen (8) voneinander unabhängig.

Wir wollen zeigen, daß es eine derartige Transformation (9) auf ein statisches Linienelement nicht gibt. Würde sie existieren, so wäre die sich daraus durch Elimination der Zwischenvariabeln x_0, x_1, x_2 ergebende Transformation von t', r', ϑ' auf η_0, η_1, η_2, also von Raum- und Zeitkoordinaten der ruhenden Scheibe auf diejenigen der r. Sch., in gewissem Sinne das Analogon zur Lorentztransformation, welche den gleichen Zusammenhang herstellt, zwischen ruhendem und geradlinig-gleichförmig bewegtem System. Denn geht man vom Linienelement (1) durch die zu (4) analoge Galilei-Transformation

$$x_0 = t', \quad x_1 = x' - ut', \quad x_2 = y', \quad x_3 = z'$$

zu einem geradlinig bewegten System über und bringt schließlich das erhaltene Linienelement ds^2 durch eine Transformation der Gestalt (8) auf statische Form, so ergeben sich durch Elimination von x_0, x_1, x_2, x_3 zwischen t, x', y', z' und η_0, η_1, η_2, $\eta_3 = z'$ gerade die Lorentztransformationen. Nach dieser Bemerkung gehen wir zu unserem Beweis zurück. Wir bezeichnen $\frac{\partial\psi}{\partial\eta_0}, \frac{\partial\psi}{\partial\eta_1}, \frac{\partial\varphi}{\partial\eta_1}$ usw. mit $\psi_0, \psi_1, \varphi_1 \ldots$ und erhalten aus (7) auf Grund von (8)

$$\left.\begin{aligned} ds^2 &= (1-\chi^2)\psi_0^2 d\eta_0^2 + 2[\psi_0\psi_1(1-\chi^2) \\ &\quad -\psi_0\varphi_1\chi^2]\,d\eta_0 d\eta_1 + 2[\psi_0\psi_2(1-\chi^2) \\ &\quad -\psi_0\varphi_2\chi^2]\,d\eta_0 d\eta_2 - d\sigma^2. \end{aligned}\right| \quad (10)$$

Der Vergleich mit (9) zeigt, daß die Transformation (8) folgenden Bedingungen genügen muß:

$$(1-\chi^2)\psi_1 = \chi^2\varphi_1, \quad (1-\chi^2)\psi_2 = \chi^2\varphi_2, \quad (11)$$

da die rechten Seiten von η_0 unabhängig sind, muß dies auch für die linken Seiten gelten. Es muß also $x_0 = \psi(\eta_0, \eta_1, \eta_2)$ die Gestalt haben:

$$x_0 = r(\eta_0) + s(\eta_1, \eta_2). \quad (12)$$

Schreiben wir ferner für die Funktion $\frac{1}{\chi^2} - 1$ von η_1 und η_2 zur Abkürzung

$$\frac{1}{\chi^2} - 1 = t(\eta_1, \eta_2), \quad (13)$$

so erhalten wir aus (11)

$$t\frac{\partial s}{\partial\eta_1} = \frac{\partial\varphi}{\partial\eta_1}, \quad (14)$$

$$t\frac{\partial s}{\partial\eta_2} = \frac{\partial\varphi}{\partial\eta_1}.$$

Hieraus folgt

$$\frac{\partial s}{\partial\eta_1}\frac{\partial\varphi}{\partial\eta_2} - \frac{\partial s}{\partial\eta_2}\frac{\partial\varphi}{\partial\eta_1} = 0.$$

Es muß also φ eine Funktion von s sein: $\varphi = f(s)$. Dies in (14) eingesetzt, zeigt, daß t durch $t = f'(s)$ gegeben sein muß, oder wegen (13)

$$\chi = \frac{1}{\sqrt{1+f'(s)}}.$$

Man hätte also

$$x_1 = \varphi(\eta_1\eta_2) = f(s), \quad x_2 = \chi(\eta_1\eta_2) = \frac{1}{\sqrt{1+f'(s)}}. \quad (15)$$

Das aber ist unmöglich, denn φ und χ müssen voraussetzungsgemäß voneinander unabhängige Funktionen sein. Es gibt also keine Transformation auf der Scheibe, durch die erreicht werden kann, daß das vierdimensionale Linienelement (2), das die „rotierende Scheibe" darstellt, in Raum und Zeit zerfällt. Von einer bestimmten Raumstruktur der r. Sch. zu sprechen, entbehrt daher jeglichen mathematischen bzw. physikalischen Sinnes.

Man kann dies auch durch eine Überlegung erkennen, die mit der im ersten Absatz erwähnten Schlußweise in enger Beziehung steht. Auf der ruhenden wie auch der r. Sch. führen wir Polarkoordinaten ein, die wir mit R, Θ, T bzw. r, ϑ, t bezeichnen. In jedem Moment können wir einen beliebigen Punkt sowohl auf der ruhenden wie auf der r. Sch. als Ursprung eines rechtwinkeligen Koordinatensystems auffassen, wobei sich die beiden Systeme in Richtung der Koordinatenlinie $R = r = \text{konst.}$ mit der Geschwindigkeit ωr gegeneinander bewegen. Zwischen den unendlich kleinen Koordinaten- und Zeitdifferenzen dR, $d\Theta$, dT; dr, $d\vartheta$, dt im ruhenden

1) Siehe H. Weyl, Raum, Zeit, Materie. Berlin 1919, S. 213.

bzw. im rotierenden System bestehen also die Lorentztransformationen

$$\left.\begin{aligned} dr &= dR, \\ r\,d\vartheta &= \frac{R\,d\Theta - \omega R\,dT}{\sqrt{1-\left(\frac{\omega R}{c}\right)^2}}, \\ dt &= \frac{dT - \frac{\omega R^2}{c^2}\,d\Theta}{\sqrt{1-\left(\frac{\omega R}{c}\right)^2}}. \end{aligned}\right\} \quad (16)$$

Führt man in $ds^2 = dT^2 - (dR^2 + R^2 d\Theta^2)$ die Koordinatendifferentiale dr, $d\vartheta$, dt des rotierenden Systems nach (16) ein, so erhält man

$$ds^2 = dt^2 - (dr^2 + r^2 d\vartheta^2),$$

was natürlich der Fall sein muß, da ja dr, $d\vartheta$, dt auch im bewegten System die Bedeutung von Raum- und Zeitdifferenzen haben. Zum Unterschied von den gewöhnlichen Lorentztransformationen

$$dx_1 = \frac{dx - u\,dt}{\sqrt{1-\left(\frac{u}{c}\right)^2}}, \qquad dx_2 = dy, \qquad dx_3 = dz,$$

$$dt_0 = \frac{dt - \frac{u}{c^2}\,dx}{\sqrt{1-\left(\frac{u}{c}\right)^2}} \qquad u = \text{Const.},$$

die sich sogleich integrieren lassen und uns die endlichen Transformationsgleichungen für Raum und Zeit ergeben, kennen wir in (16) nur die Transformationsformeln für die unendlich kleinen Koordinatendifferenzen. Wären diese totalen Differentialgleichungen integrierbar, so wären mit den Lösungen auch die endlichen Transformationsgleichungen für Raum und Zeit gefunden. Wie man aber unmittelbar aus (16) ersieht, sind diese Gleichungen nicht integrierbar. Man erkennt also auch hieraus, daß die übliche Begründung für das Auftreten der nichteuklidischen Geometrie in der allgemeinen Relativitätstheorie unrichtig ist. Es scheint uns aber, daß sie in dieser Form auch vollkommen überflüssig, ja in gewissem Sinne sogar irreführend ist. Denn man kann ja das Äquivalenzprinzip schon innerhalb des Rahmens der klassischen Physik formulieren. Es beruht ja auf nichts anderem als der empirischen Tatsache der Gleichheit von träger und schwerer Masse, die es eben ermöglicht, das Gravitationsfeld als Trägheitsfeld aufzufassen. Ist dieses Gravitationsfeld aber nicht homogen, d. h. läßt es sich nicht durch Einführung eines beschleunigten Bezugssystems in seiner Gänze wegtransformieren, so ist man eben zur Einführung der Raumkrümmung gezwungen, kommt also auf diese Weise zur nichteuklidischen Geometrie. Die Notwendigkeit dieser Erweiterung der Geometrie in der Physik ergibt sich somit bloß aus dem Äquivalenzprinzip und hat mit Lorentzkontraktion, auf der im wesentlichen der Einsteinsche Beweis beruht, unmittelbar nichts zu tun.

Eine ausführlichere Untersuchung der Transformationsformeln für Raum und Zeit auf beliebig bewegte Bezugssysteme und der Frage, ob und wann man in derartig beschleunigten Systemen überhaupt von Raum und Zeit analog wie in Inertialsystemen sprechen kann, ist in der Zeitschrift für Physik (91, 169, 1934) erschienen.

Zusammenfassung.

1. Der übliche Beweis, daß auf der r. Sch. die nichteuklidische Geometrie gilt, ist inkonsequent, denn er soll das Auftreten der nichteuklidischen Geometrie bei beschleunigten Systemen beweisen, obwohl im Beweisgang die Beschleunigung des Systems gar nicht benützt wird, ja sogar im Gegenteil, um die Formeln der speziellen Relativitätstheorie anwenden zu können, so gerechnet werden muß, als ob keine Beschleunigung vorhanden wäre.
2. Der Beweis ist irreführend, denn das Resultat beruht wesentlich auf der Voraussetzung der Lorentzkontraktion, während doch die Raumkrümmung allein im Äquivalenzprinzip ihren Grund hat, und dieses Prinzip kann schon im Rahmen der klassischen Physik, die den Begriff der Lorentzkontraktion gar nicht kennt, formuliert werden.
3. Das Resultat ist überhaupt unrichtig, denn die Gesetze der allgemeinen Relativitätstheorie, die für das Problem der r. Sch. kompetent sind, ergeben, daß sich die vierdimensionale Mannigfaltigkeit, welche der r. Sch. entspricht, überhaupt nicht in Raum und Zeit aufspalten läßt.

Prag, Institut für theoretische Physik der Deutschen Universität.

(Eingegangen 28. Juli 1934.)

BESPRECHUNGEN.

Handbuch der Radiologie. Hrsg. von E. Marx. Quantenmechanik der Materie und Strahlung. Teil II, 604 Seiten, Leipzig 1934. Akademische Verlagsanstalt. Brosch. RM 54.—, gebunden RM 56.—.

Der zweite Band der „Quantenmechanik der Materie und Strahlung" enthält Artikel über den Molekülbau, Bandenspektren, Lichtstreuung und elektrische und magnetische Eigenschaften der Materie.

Der erste Artikel von R. de L. Kronig: Quantenmechanik, Bandenspektren und Molekülbau, bringt zunächst die einfachen Rotations- und Rotationsschwingungsspektren, dann ausführlich die Elektronenbandensysteme mit den verschiedenen Arten der Koppelung. In dem zweiten Artikel: Theorie der elektrischen Molekulareigenschaften von P. Debye und H. Sack, wird zunächst die molekulare Polarisation und Refraktion behandelt, das Clausius-Mosottische und das Lorenz-Lorentzsche Gesetz besprochen und eine Molekulartheorie der elektrischen Polarisation samt ihrer Abhängigkeit von der Frequenz gegeben. Zuletzt wird die elektrische Doppelbrechung behandelt.

Es folgt ein Artikel von G. Placzek über Rayleigh-Streuung und Raman-Effekt. Der Raman-Effekt hat sich ja außerordentlich schnell zu einer viel beachteten und fruchtbaren Disziplin entwickelt. Der vorliegende Artikel bringt gerade das, was man von der Theorie wissen muß, wenn man aus dem Raman-Effekt auf den Molekülbau schließen will. Zuerst werden auf quantenmechanischer Grundlage ganz allgemeingültige Streuformeln entwickelt. Als Spezialfall ergibt sich die Fluoreszenz, insbesondere die Polarisation der Fluoreszenz. Weiterhin gelangt Placzek durch Spezialisierung zu einer erschöpfenden Darstellung der Streuung insbesondere der frequenzverschobenen Streuung (Raman-Streuung). An Hand der Formeln für die Intensität und Polarisation der Streustrahlung wird entwickelt, wie man die bekannten experimentellen Daten zu einer Zuordnung der Raman-Frequenzen zu den Atomschwingungen benutzen kann.

Im folgenden Artikel ist ein ebenso akutes Problem, der Magnetismus, von F. Bloch besprochen. Zuerst wird die Magnetostriktion und der magnetokalorische Effekt thermodynamisch behandelt, dann der Diamagnetismus und Paramagnetismus besprochen. Mehrere Abschnitte sind dem Ferromagnetismus, der ja am meisten interessiert, gewidmet. Hier wird zuerst die Weißsche Theorie des molekularen Feldes, dann die neuere Theorie des Elektronenaustausches und die Heisenbergsche Theorie des Ferromagnetismus gebracht. Zuletzt wird eine Deutung der Remanenz und Hysterese versucht. Im letzten Artikel von W. Heitler: Quantentheorie und homöopolare chemische Bindung, wird die Frage beantwortet, wann und warum sich zwei Atome zu einem Molekül verbinden. Zunächst wird die Natur der Valenzkräfte behandelt, die Möglichkeit des Elektronenaustausches diskutiert und der Zusammenhang mit der Valenztheorie von Lewis erläutert. Anschließend daran werden eine Menge Spezialfälle besprochen.

Zusammenfassend kann man sagen, daß der zweite Band der Quantenmechanik und Strahlung unsere physikalische Handbuchliteratur überaus wertvoll bereichert. Die Artikel, von den besten Kennern verfaßt, sind ebenso originell wie exakt geschrieben. Man wird wohl nirgends die genannten Themen so klar und erschöpfend behandelt finden.

W. Hanle.

E. Lehr, Schwingungstechnik, ein Handbuch für Ingenieure. II. Band. Schwingungen eingliedriger Systeme mit stetiger Energiezufuhr. Gr.-8°. XII und 373 S. Mit 243 Textabbildungen. Berlin 1934. J. Springer. RM. 30.—, geb. RM. 31,50.

Das groß angelegte Lehrsche Handbuch ist in Parallele zu stellen zu Handbüchern der Wechselstromtechnik. Es werden hier die Grundlagen zur Behandlung mechanischer Schwingungsprobleme in einer bisher nicht vorhandenen Weise entwickelt, die den Konstrukteur befähigen soll, mechanische Schwingungsanlagen verschiedenster Art restlos durchzukonstruieren — genau so sicher, wie man z. B. Wechselstrommaschinen oder Röhrengeneratoren heute berechnen kann. Auch das Gebiet der schwingungstechnischen Materialprüfung und die ingenieurmäßige Behandlung der störenden Schwingungen bei Maschinen (kritische Drehzahlen), Fundamentschwingungen, sind im Plane dieses Werkes enthalten. Grundsätzlich arbeitet Lehr die Einheitlichkeit des ganzen Schwingungsgebietes heraus und legt den größten Wert auf die Analogien zwischen elastischen und elektromagnetischen Schwingungen und zeigt klar die Wege, wie von den allgemeinen schwingungstheoretischen Gleichungen auf das eine oder andere Gebiet überzugehen ist. Er entwickelt sorgfältig die Parallelen zwischen elektrischen und mechanischen Schaltelementen und Schaltungen und ist überall bestrebt, an Hand gut gewählter, sorgfältig gerechneter Beispiele den Übergang von allgemeinen Gleichungen auf den speziellen technischen Fall so vorzuführen, daß der Konstrukteur im praktischen Falle danach arbeiten kann. Hervorzuheben ist die Sorgfalt und das Geschick, womit die begriffliche Klarstellung beim Ansatz der Gleichungen gegeben wird. Der vorliegende zweite Band behandelt die Schwingungen eingliedriger Systeme mit stetiger Energiezufuhr. Die ersten beiden Kapitel behandeln die Elemente, aus denen die Schwinger zusammengesetzt sind, in ihrem Verhalten bei Einfluß zwangsläufiger Wechselbewegungen (Wechselströme) und bei Wechselkräften (Wechselspannungen), die mechanische Parallel- und Hintereinanderschaltung und deren elektrische Analogien. Die Analogietabellen wird der Physiker mit Interesse aufnehmen. „Die mechanische Parallelschaltung entspricht der elektrischen Hintereinanderschaltung, die mechanische Hintereinanderschaltung der elektrischen Parallelschaltung." Dieser Satz weicht von üblichen Darstellungen ab und erweist sich als sehr wertvoll. Kapitel 3 bringt erzwungene Schwingungen vollständiger Schwingungssysteme, geht u. a. auf elektrische „Modellversuche" ein. Das 4. Kapitel ist den selbststeuernden Schwingungssystemen — elektrischer wie mechanischer Art —

gewidmet, während das Schlußkapitel die pseudoharmonischen Schwingungen behandelt. Der technische Physiker wird das Buch mit größtem Nutzen studieren, auf das mit allem Nachdruck aufmerksam gemacht werden kann. H. Hörig.

N. F. Mott u. H. S. W. Massey, The Theory of Atomic Collisions. Oxford 1933, Clarendon Press. XV u. 283 Seiten. Preis 17 s. 6 d.

Dieses Buch dürfte manchem Physiker, dessen Arbeit die Kenntnis der theoretischen Methoden zur Behandlung atomarer Stoßprozesse erfordert, unentbehrlich werden. Es behandelt übersichtlich und ausführlich sowohl die Theorie der Stöße langsamer Teilchen, von der die Verfasser hoffen, daß sie demnächst für die chemische Reaktionskinetik bedeutsam werden könnte, wie die für die aktuellen Probleme der Kernphysik und Höhenstrahlung so wichtige Theorie der Stöße schneller Teilchen. Das Buch ist durchaus auf die Bedürfnisse dessen eingestellt, der die Methoden selbst praktisch anwenden muß und daher den Zusammenhang zwischen den allgemeinen Prinzipien der Theorie und den Endformeln im einzelnen zu verfolgen wünscht. Etwas zu kurz gekommen sind nach dem Gefühl des Referenten nur die doch noch immer lehrreichen klassischen Rechenweisen (z. B. die Bohrsche Bremstheorie) und die Abschätzung ihrer Tragweite als korrespondenzmäßige Verfahren. Im Rahmen der reinen Theorie mag das eine Geschmacksfrage sein; aber vielleicht würde ein theoretisch interessierter Experimentalphysiker doch noch lieber zu einer derartigen Darstellung greifen als zu der konsequent wellenmechanischen der Verfasser. Diese Bemerkung bezieht sich jedoch im Grunde auf eine Einzelheit und soll den Wert des schönen Buches keineswegs herabsetzen.

C. F. v. Weizsäcker.

Rud. Seeliger, Einführung in die Physik der Gasentladungen. 2. umgearbeitete Auflage. Leipzig 1934. J. A. Barth. Geh. RM 46.—, geb. RM 48.—.

Die zweite Auflage dieses nun schon zum Standardwerk der Gasentladungen gewordenen Werkes bringt die Kenntnis wieder auf den neuesten Stand der Forschung, die in den sechs Jahren seit Erscheinen der ersten Auflage auf allen Gebieten recht bedeutende Fortschritte gemacht hat. Es ist besonders interessant, die mustergültigen und wirklich inhaltsreichen Literaturangaben, wie sie leider sonst so selten in dieser besonders wirksamen und praktischen Form gegeben werden, beider Auflagen zu vergleichen, um zu sehen, wieviel neue Aufklärung in diesem ganz besonders komplizierten und schwer zu durchschauenden Teilgebiet der Physik in den letzten Jahren gewonnen worden ist. Davon beeinflußt sind ganz besonders die theoretischen Teilabschnitte und die durch die Ergebnisse der Theorie beeinflußten experimentellen Arbeiten, so z. B. die Zündfragen der Entladungen, die Fragen des Kathodenfalles und der positiven Säule (des Plasmas) und die thermischen und die Feldtheorien des Bogens. Diese Abschnitte sind zum Teil so stark geändert, daß man sie als neu gefaßt bezeichnen muß.

Der Charakter als Lehrbuch ist beibehalten worden, insofern der Text, flüssig und ohne Zitate belastet, die experimentelle Erfahrung und die Theorie der Elementarvorgänge, der raumladungsfreien Entladungen, der Glimmentladungen und dann der Bogenentladungen behandelt. Am Schlusse befindet sich dann eine ausgezeichnete Literaturzusammenstellung, von der man wirklich etwas hat, weil sie auch eine kurze kritische Inhaltsangabe und Hinweise auf Verwandtes bringt.

Die technischen Anwendungen konnten nur kurz angedeutet werden, wenn der frühere Umfang einigermaßen beibehalten werden sollte, und auch deswegen, weil das Buch in erster Linie ein physikalisches bleiben sollte, als Grundlage für andere, mehr technisch eingestellte Werke dieses Gebiets.

Auch diese Auflage liest sich durch die klare, übersichtliche Form der Darstellung sehr angenehm und man ist dem Verfasser dankbar, daß er als einer der ersten Sachkenner dieses Gebiets aus der Flut der Veröffentlichungen wieder das herausgeholt hat, was besonders wissenswert ist und es kritisch verarbeitet vorlegt, aber andererseits auch durch die Anmerkungen am Schlusse bequem die Möglichkeit gibt, eingehende Originalstudien treiben zu können. Interessant ist die Tatsache, wie die ursprünglich sehr nebensächlich behandelten Diffusionserscheinungen im Laufe der Zeit immer wichtiger werden und in immer mehr Teilgebieten von ausschlaggebendem Einfluß werden, wodurch andererseits die mathematische Behandlung immer schwieriger wird.

Die neue Auflage der „Gasentladungen" kann wiederum, wie schon die frühere, jedem Studierenden zur Einführung warm empfohlen werden, aber auch der Forscher und der Ingenieur wird sie mit Vorteil benützen wegen der raschen, kurzen und klaren Orientierung und der sehr eingehenden Literaturhinweise. Schumann.

Stereochemie. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse, Grundlagen und Probleme. In Einzeldarstellungen, hrsg. von K. Freudenberg. XVI und 1509 S. Mit 305 Abb. Leipzig und Wien 1933. Franz Deuticke. Geb. RM 180.—, geh. RM 174.—.

Die Stereochemie, d. i. die Lehre vom geometrischen Aufbau der Moleküle, ursprünglich fast nur angewiesen auf rein chemische Methoden und empirische physiko-chemische Gesetzmäßigkeiten, ist in den letzten Jahren in ganz besonderem Maße durch physikalische Forschungsmethoden, experimentelle wie theoretische, ergänzt und weiterentwickelt worden. Es möge hier nur beispielshalber an die Strukturbestimmung mittels Beugung von Röntgen- und Elektronenstrahlen, oder an die quantenmechanische Deutung der Valenz erinnert werden. Einer zusammenfassenden Darstellung, wie der vorliegenden, wird daher nicht nur der Chemiker und Physikochemiker, sondern auch der Physiker (besonders der „Molekülphysiker") größtes Interesse entgegenbringen, besonders da ein eingehendes und doch vollständiges modernes Werk auf diesem Gebiete fehlt. Neben den Anwendungen physikalischer Methoden und Gedankengänge findet der Physiker aber auch, und dies ist von besonderem Werte, eine Fülle neuer Anregungen, indem er auf viele noch ungelöste Probleme aufmerksam gemacht wird. Schließlich wird ihm auch dies Werk als Nachschlagebuch bei der Suche nach Substanzen gute Dienste tun und ihn rasch über (ganz oder teilweise) bekannte oder vermutete Strukturen unterrichten.

Das Werk ist in drei Bücher unterteilt (Allgemeine und physikalische St.; St. der Kohlenstoffverbindungen; St. der Elemente außer Kohlenstoff), deren jedes eine Reihe von in sich abgeschlossenen Kapiteln enthält. Es ist dem Herausgeber gelungen, für die Abfassung dieser einzelnen Aufsätze zuverlässige und mit dem Fache besonders vertraute Mitarbeiter zu gewinnen. Natürlich ist in den physikalischen Teilen, im allgemeinen, das Hauptgewicht auf die Anwendungen gelegt, während die theoretischen und experimentellen Grundlagen nur so weit wie nötig und ohne Details angegeben sind.

Die ersten zwei Kapitel behandeln die Atomanordnung im festen Zustande: Mark gibt eine gedrängte Übersicht über die röntgenographischen Methoden, während V. M. Goldschmidt über die Ergebnisse und die gefundenen Gesetzmäßigkeiten (Ionenradien usw.) bei anorganischen Molekülen berichtet. Im dritten Beitrag, von Mark, finden wir die Methoden der Röntgen- und Elektronenstrahlstreuung in Gasen und ihre Ergebnisse, sowie solche an festen organischen Stoffen, wie z. B. von langen Kettenmolekülen usw. Die folgenden Beiträge befassen sich mit Molekülrotation und Atomschwingungen und den Schlüssen, die man daraus auf die Struktur der Moleküle ziehen kann: Bandenspektren (Mecke) und Ramaneffekt (Dadieu). Die Ergebnisse sind übersichtlich zusammengestellt, und es ist zu begrüßen, daß bei ihrer Diskussion die Notwendigkeit der quantitativen Behandlung (gegenüber der rein qualitativen) besonders betont wird. Der Aufsatz von Wolf und Fuchs über „Sterischer Bau und elektrische Eigenschaften" (Dipolmoment, Kerreffekt, Lichtstreuung) geht etwas stärker als die anderen Beiträge auf die experimentelle Anordnung ein; die Ergebnisse sind in besonders gut angelegten Tabellen zusammengestellt, die die Diskussion sehr erleichtern. Im VII. Abschnitt behandelt Mark rein theoretische Fragen: „Quantenmechanische Deutung der gerichteten Valenz"; er versteht es, kurz und ohne Formeln den wesentlichen Inhalt dieser für die moderne Chemie so wichtigen Gedankengänge klarzumachen. W. Kuhn gibt im VIII. Kapitel eine eingehende Darstellung der optischen Aktivität, in der auch die theoretischen Grundlagen ausführlich und mit Formeln wiedergegeben sind. Den Abschluß des ersten Buches bildet ein Beitrag von St. Goldschmidt über „Räumlicher Bau von Molekülen und Reaktionsgeschwindigkeit", der ein Übergangsglied zu den mehr chemisch eingestellten Abhandlungen der beiden anderen Bücher darstellt. — Das zweite Buch beginnt mit drei allgemeineren, eine sehr gute Übersicht vermittelnden Kapiteln: Die Tetraedersymmetrie (Ebel), Die Isomerieerscheinungen (Ebel); Konfigurative Zusammenhänge optisch aktiver Verbindungen (Freudenberg), während die folgenden Kapitel mehr den Einzelfragen gewidmet sind: Physikalische Eigenschaften und Konfiguration geometrischer isomerer Äthylenkörper (Wassermann); Spannungstheorie und physikalische Eigenschaften ringförmiger Verbindungen (Wassermann); Molekulare Asymmetrie (Kuhn); Umlagerungen von Äthankörpern (Ebel); Sterische Umlagerungen am asymmetrischen Kohlenstoffatom (Wagner-Jauregg); Cis-Trans-Umlagerungen der Äthylenkörper (Kuhn). Das letzte Kapitel bildet ein interessanter Beitrag von Brockmann über „Das biologische Verhalten stereoisomerer Verbindungen". — Im dritten Buche behandeln sehr eingehend Meisenheimer und Theilacker die St. der Stickstoffgruppe und Ziegler die St. der Elemente der 4. und 6. Hauptgruppe (ohne Kohlenstoff). Ganz besonders zu erwähnen ist der sehr schöne Beitrag von P. Pfeiffer über Komplexverbindungen, der das reichhaltige Gesamtwerk beschließt.

Die Beiträge sind im allgemeinen so gehalten, daß sie auch dem mit dem Spezialgebiet nicht so Vertrauten verständlich sind. Sie ergänzen sich in bester Weise (abgesehen von einigen kleineren Wiederholungen) und vermögen ein umfassendes Bild vom heutigen Stande der Stereochemie zu geben. Zweifellos wird dieses vorzügliche Werk der Weiterentwicklung dieses Wissensgebietes sehr förderlich sein. Der Vorteil des Buches, über ein mitten in der Entwicklung begriffenes Gebiet zu berichten und die Ergebnisse aufzuzählen, birgt natürlich auch einen großen Nachteil in sich: der der schnellen Veraltung, die an einigen Stellen schon heute, nur wenige Monate nach Erscheinen der letzten Lieferung an manchen Stellen etwas merkbar wird (Röntgen- und Elektronenbeugungen, Dipolmomente, Quantenmechanik der Valenz usw.). Es ist daher die Absicht des Herausgebers zu begrüßen, in kurzer Zeit Ergänzungsbände erscheinen zu lassen, die dieses Standardwerk immer wieder dem neuen Stande der Wissenschaft anpassen sollen.

H. S.

D. J. Struik, Theory of linear connections. 3. Bd., 2. Heft der Ergebnisse der Mathematik und ihrer Grenzgebiete. Hrsg. von der Schriftleitung des „Zentralblatt für Mathematik". Gr.-8°. VII u. 68 S. Berlin 1934. J. Springer. Geh. RM 8.60.

Die Lehre von den linearen Übertragungen ist bekanntlich für die moderne Physik in mehrfacher Hinsicht von Interesse, wie denn ein wesentlicher Anstoß zu ihrer Entwicklung von der Physik ausgegangen ist. Diese Entwicklung war im letzten Jahrzehnt eine derart rasche, daß der vorliegende schöne Bericht über die wichtigsten einschlägigen Fragestellungen und Ergebnisse einem wirklichen Bedürfnisse entgegenkommt. Seine übersichtliche Anlage wird auch dem Fernerstehenden eine Orientierung ermöglichen; eine gewisse Vertrautheit mit Differentialgeometrie ist dabei allerdings nicht zu entbehren. Allgemein gesprochen handelt es sich um die Untersuchung von Mannigfaltigkeiten V, in welchen jedem Punkte P ein Raum $R(P)$ zugeordnet und wobei für jeden solchen $R(P)$ eine Abbildung auf die zu benachbarten Punkten P' gehörigen $R(P')$ erklärt ist. Damit ist dann die Möglichkeit gegeben, solche benachbarte Räume miteinander zu vergleichen. Je nach Wahl der V, der $R(P)$ und ihrer Abbildung erhält man die verschiedenen Übertragungen. Inhalt: I. Algebraische Grundlagen. II.—V. Affine, aus Differentialgleichungen entspringende, Hermitesche [Spin-Übertragungen (Dirac)], projektive Übertragungen. VI. Einbettungsproblem. Bezeichnungen. Bibliographie.

Haupt.

Vorlesungsverzeichnis für das Wintersemester 1934/35.

Technische Hochschule Aachen. **Starke:** Experimentalphysik I, 4; Übungen im physikalischen Laboratorium, 4 und 2, für Vorgeschrittene, 4; Anleitung zu selbständigen Untersuchungen, tägl. — **Seitz:** Wärmetheorie, 4, Übungen, 1; Experimentalphysik, enzyklopädischer Kurs, 2; Übungen im physikalischen Praktikum, 2; Anleitung zu selbständigen physikalischen Untersuchungen, tägl. — **Wieselsberger:** Aerodynamik als Einführung in den Flugzeugbau, 3; Einführung in die Flugzeugstatik, 2, Übungen, 2; Seminar über Fragen der Aerodynamik und Flugtechnik (mit Bollenrath), 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten in Aerodynamik und Flugtechnik, tägl. — **Kirschbaum:** Ausgewählte Kapitel der Physik: Röntgenspektroskopie, 1; Seminaristische Übungen und Ergänzungen zur Experimentalphysik, 1; Ausgewählte Kapitel der Photographie und ihrer Optik, 1, Übungen, 2. — **Bollenrath:** Werkstoffe des Flugzeugbaues, 1; Konstruktionselemente des Flugzeugbaues, 2; Festigkeitsversuche an Flugzeugbauteilen, Übungen, 1; Entwurf von Flugzeugen, 1. — **Hoelper:** Dynamische Meteorologie, 2. — **Schmidt:** Angewandte Wärmestrahlung: Strahlungspyrometrie, Strahlungswärmeübergang, Regelverfahren mit Hilfe von Wärmestrahlung, 6. —

Universität Basel. **Hagenbach:** Experimentalphysik II, 6; Physikalisches Praktikum für Vorgerücktere, tägl., für Anfänger, 8; Physikalisches Kolloquium (mit Zickendraht und Wehrli), 14tägig, 2 *g*. — **Matthies:** Theorie der Vektor- und Tensorrechnung, 3, Übungen, 1; Strahlungs- und Quantentheorie, 4, Übungen, 1; Mathematisch-physikalisches Proseminar; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, 1. — **Zickendraht:** Hochfrequente Wechselströme und elektromagnetische Strahlung: Radiotechnik, 2, Radiopraktikum, 3. — **Zehnder:** Die Physik des Weltaufbaus, 1; Maschinenkunde für Chemiker, 1. — **Bürki:** Repetitorium der physikalischen Chemie, 1; Die Photographie als Hilfsmittel in Wissenschaft und Technik, 1; Photographisch-chemisches Praktikum, 3; Photographisch-chemische Übungen für Vorgerücktere, 3 halbe Tage. — **Wehrli:** Statistischer Aufbau der Materie, 1; Seminar über moderne Fragen aus dem Gebiete der Atom- und Molekülstruktur (mit Erlenmeyer), 1. — **Flatt jun.:** Technische Gasreaktionen, 2. —

Universität Berlin. **Wehnelt:** Experimentalphysik II, 4; Physikalisches Anfängerpraktikum, 7, Ergänzungen, 1 *g*; Praktikum zur Erlangung von Handfertigkeit für das naturwissenschaftliche Arbeiten, 3; Physikalisches Praktikum für Mediziner und Pharmazeuten, 3; Physikalische Forschungsarbeiten (mit Schumann, Hettner, Czerny und Orthmann), tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit v. Laue), 2 *g*; Experimentell-physikalische Arbeiten (mit Schumann und Becker), tägl. — **v. Laue:** Physikalisches Proseminar, $1^1/_2$. — **Schumann:** Seminar, Wehrphysik II, 2. — **Becker:** Allgemeine Wehrtechnik, 2 *g*. — **Kolhörster:** Probleme der Geophysik, 1; Einführung in die Radioaktivität, 1; Arbeiten über Höhenstrahlung, für Fortgeschrittene, tägl. — **Orthmann:** Höhere Experimentalphysik II, mit Versuchen: Elektrizität, Optik, Atomphysik, 4; Einführung in die Experimentalphysik, 4. — **Hettner:** Theorie der Materie und der Strahlung II, 4; Theoretisch-physikalische Übungen, 1. — **Möglich:** Thermodynamik, mit Übungen, 6; Theoretisch-physikalisches Proseminar, mit Lichtbildern, 2. — **Henning:** Einführung in die Theorie der Strahlung, 2. — **Gehrcke:** Ausgewählte Kapitel aus der modernen Optik, mit Experimenten, 1. — **Schüler:** Die Spektroskopie als Hilfsmittel der Atomkernforschung, 1; Spektroskopisches Praktikum (mit Grotrian), 4. — **Philipp:** Spontane und künstliche Radioaktivität, 1. — **Beutler:** Spektralanalyse, 1. — **Sommer:** Röntgenspektroskopie, 1. — **Kopfermann:** Physik der Röntgenstrahlen, $1^1/_2$. — **Reichenheim:** Die Gasentladung und ihre elektrischen Strahlen, 1. — **Skaupy:** Technische Anwendung der elektrischen Gasentladungen, 1. — **Kiebitz:** Physikalische Grundlagen der drahtlosen Telegraphie, mit Lichtbildern, 1. — **Trendelenburg:** Elektroakustik, mit Lichtbildern, 1. — **Grotrian:** Einführung in die Astrophysik, 1. — **Czerny:** Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene, 8. — **Blasius:** Praktische Übungen für Fortgeschrittene, 7. — **Eggert:** Grundlagen und Anwendungen der Photographie: Wissenschaftliche Farben- und Röntgenphotographie, Kinematographie, einschließlich Tonfilm, Reproduktionstechnik, $1^1/_2$. — **Scheffer:** Angewandte wissenschaftliche Mikroskopie und Mikrophotographie, nach Vereinbarung, *g*; Angewandte wissenschaftliche Photographie, nach Vereinbarung, *g*. — **Beck:** Photographisches Praktikum, für Anfänger und Fortgeschrittene, 2 *g*. — **v. Ficker:** Allgemeine Meteorologie, 3; Meteorologisches Kolloquium (mit Defant), 2 *g*; Meteorologische Übungen, 1. — **Defant:** Theoretische Meteorologie, 2. — **Knoch:** Allgemeine Klimakunde, $1^1/_2$. — **Kölzer:** Atmosphärische Akustik und Meßmethoden zur Schallausbreitung, 1. — **Kähler:** Luftelektrizität, 1; Übungen aus dem Gebiete der Meteorologie, atmosphärischen Elektrizität und Strahlung, 2, für Fortgeschrittene, tägl. — **Bartels:** Erdmagnetismus und Polarlicht, 1. — **Robitzsch:** Aerologische Arbeitsmethoden, 1. — **König:** Einführung in die synoptische Meteorologie, mit Übungen, 2. —

Universität Bern. **Greinacher:** Experimentalphysik: Wärme, Elektrizität, Magnetismus, 5, Ergänzungen, 1; Repetitorium der Physik, 1; Physikalisches Kolloquium (mit Gruner), nach Vereinbarung, *g*; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 4, für Vorgerücktere, 2 halbe Tage; Physikalisches Vollpraktikum, tägl. — **Gruner:** Optik, 4; Molekülare Wärmetheorie, 3; Einleitung in die theoretische Physik, nach Vereinbarung; Seminar für theoretische Physik, nach Vereinbarung. — **Koestler:** Die statistischen Forschungsmethoden des Naturwissenschafters, 1–2. — **Mauderli:** Mechanische und elektrische Schwingungen in vergleichender Behandlung, 1–2; Elektrische Hochspannungstechnik, 1–2. — **König:** Elektrische Meßinstrumente, 1–2. —

Universität Bonn. **Pflüger:** Theorie der Elektrizität und des Magnetismus, 5; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten (mit Szivessy), ganztägig; Physikalisches Kolloquium (mit Grebe, Szivessy, Wever, Schmitz und Dreisch), 2 *g*. — **Grebe:** Experimentalphysik für Mediziner I: Mechanik, Akustik, Wärme, 3; Einführung in die theoretische Physik: Mechanik, 3; Anleitung zu selbständigen Arbeiten aus der Physik der Röntgenstrahlen, tägl. — **Szivessy:** Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 5; Physikalisches

Praktikum für Anfänger, 6, für Vorgeschrittene, tägl.; Leitung selbständiger wissenschaftlicher Experimentalarbeiten, tägl.; Angewandte Physik: Optik, 4; Die physikalischen Grundlagen der Schießtechnik: Artilleristik, 1. — **Wever:** Physikalisch-technische Besichtigungen, nach Vereinbarung g. — **Schmitz:** Elektrische Meßtechnik, 2. — **Dreisch:** Flugmeteorologie, 1. —

Technische Hochschule Braunschweig. Diesselhorst: Experimentalphysik I: Elektrizität und Magnetismus, 4; Vektorrechnung, mit Anwendungen, insbesondere aus der Mechanik, 1; Ausgewählte Abschnitte aus der theoretischen Physik, 2; Physikalisches Praktikum I und II; Physikalisches Kolloquium (mit Lübcke), 14tägig, 2 g. — **Koppe:** Luftnavigation, 1; Luftmeereskunde, 1; Übungen in Luftfahrtmeßtechnik, 2; Übungen in Flugmeteorologie, 2; Kolloquium über Fragen des praktischen Luftverkehrs, 2 g. — **Bergwitz:** Elektrische Leitung in Gasen, 2; Physik der Röntgenstrahlen, 1; Elektronisch-radiologisches Praktikum, 1 Nachmittag. — **Lübcke:** Akustik I: Schallwellen und Schallempfang, 1; Akustische Meßmethoden I, mit Übungen, 1; Physikalisch-technische Arbeiten im Laboratorium, nach Vereinbarung. —

Universität Breslau. Schaefer: Elementare Experimentalphysik: Mechanik, Akustik, Wärme, Elektrizität, Optik, 6; Quantentheorie II, 5; Physikalisches Praktikum für Anfänger (mit Senftleben und Bergmann), 3 oder 6, für Mediziner, Pharmazeuten und Landwirte (mit Senftleben und Bergmann), 3, für Fortgeschrittene (mit Steubing, Senftleben und Bergmann), tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Schaefer, Steubing und Waetzmann), 2. — **Steubing:** Allgemeine Meteorologie, 1; Physikalische Meßmethoden und Meßtechnik für Fortgeschrittene, 2; Handfertigkeitspraktikum, 3; Übungen in der Ausführung physikalischer Experimente im Schulunterricht: Magnetismus, Elektrizität, Optik, 2. — **Senftleben:** Physikalische Grundlagen der modernen Lichterzeugung, 2; Seminar über Fragen der modernen Physik, 2. — **Bergmann:** Elektronenröhren, Theorie und praktische Anwendung, mit Demonstrationen, 2; Hochfrequenzpraktikum, 2. — **Groß:** Großtaten der Technik, mit Experimenten und Besichtigungen, 3; Schulphysik II: Ausgewählte Kapitel aus Magnetismus, Elektrizität, Optik, 1. — **N. N.:** Theoretische Optik, 5, Übungen, 2. — **Bartels:** Die theoretischen Grundlagen der modernen Astrophysik, 3. — **Ludloff:** Mechanik der Kontinua: Elastizität, Hydrodynamik, Aerodynamik, 4. — **Jüttner:** Die Mechanik des Elektrons, 2. —

Technische Hochschule Brünn. Lohr: Allgemeine und technische Physik: Elektromagnetische Erscheinungen und Optik, $3^1/_2$; Technische Physik II: Elektromagnetische Erscheinungen, 3; Physikalisches Praktikum, 4 und 3; Physikalisches Kolloquium, 1. — **Schoklitsch:** Meteorologie und Klimatologie, 3. —

Bergakademie Clausthal. Valentiner: Experimentalphysik I: Mechanik starrer, flüssiger, gasförmiger Körper, Elektrizität und Magnetismus, 4; Physikalisches Praktikum, 3; Physikalische Grundlagen der Wärmetechnik; Technische Wärmelehre, 2; Physikalisch-mathematisches Kolloquium (mit König), 2 g; Anleitung zu selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten, ganztägig. — **Becker:** Praktikum im Röntgenlaboratorium für Metallforschung, 2. — **Rössiger:** Meßmethoden der angewandten Geophysik, 1; Geophysikalisches Praktikum, 2. —

Technische Hochschule Danzig. Buchwald: Theoretische Mechanik, 4, Übungen, 14tägig, 1 g; Ausgewählte Kapitel aus der Theorie des Lichts, 1; Arbeiten für Fortgeschrittene, tägl.; Atomphysik, 2; Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene I (mit Kossel), tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Kossel), 1 g. — **Kalähne:** Einführung in die Radio- und Elektrophysik, zugleich Einführung in das Radiopraktikum, 1; Photographie und Reproduktionsverfahren, 1; Schwingungstheorie, insbesondere elektrische Schwingungen, 2; Übungen in Photographie und Reproduktionsverfahren I, 3, II, 4; Photophysikalisches Praktikum für Fortgeschrittene, 12; Radiophysikalisches Praktikum I und II, 4, III, 12. — **Kossel:** Experimentalphysik I, 4, Ergänzungen, 1; Atomtheorie des festen Körpers, 14tägig, 1; Kleines physikalisches Praktikum (mit Wolf), 4 und 3; Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene II, 12. — **Koschmieder:** Dynamische Meteorologie, 2, Übungen, 2; Ergänzungen zu Wetterkunde II, 2. — **Wolf:** Physik der Röntgenstrahlen, 1; Demonstrationspraktikum für Studienräte, 2; Einführung in das kleine physikalische Praktikum, 1; Handfertigkeitspraktikum für technische Physiker, 4. —

Technische Hochschule Dresden. Tomaschek: Experimentalphysik I, 5; Physikalisches Praktikum I, 3 und 6, II, 9; Praktikum für größere physikalische Arbeiten, ganztägig; Physikalisches Kolloquium (mit Toepler und Wiarda), 14tägig, 2 g. — **Toepler:** Theoretische Physik: Optik, 3, Übungen, 1; Elektronik, Elektrizitätsdurchgang durch Gase, 2; Hochspannungspraktikum, ausgewählte Aufgaben für Fortgeschrittene, 6; Hochspannungs- und Röntgenpraktikum (mit Wiedmann), 6; Größere physikalische Arbeiten, ganztägig; Kolloquium über Strahlenforschung (mit Wiedmann und Saupe), 1 g. — **Wiarda:** Einführung in die Theorie der Integralgleichungen, 3; Kinetische Theorie der Materie, 2. — **Wiedmann:** Röntgenstrahlen und ihre technische Verwendung, 1; Röntgentechnische und spektroskopische Übungen, 3 und 6; Selbständige Arbeiten, ganztägig. — **Saupe:** Medizinisch-röntgentechnisches Praktikum, 1. — **Alt:** Allgemeine Meteorologie, 2. — **Fleischer:** Optische Meßmethoden, 2, Übungen (mit Teichmann), 1 g. — **Teichmann:** Theorie und Praxis der elektrischen Meßinstrumente, 2. — **Klughardt:** Berechnung optischer Systeme II: Trigonometrische Durchrechnung und Fehlerkorrektur, 2; Übungen im optischen Rechnen, 1 g; Die Strahlengänge in den optischen Instrumenten, 1. — **Luther:** Photographie, 2; Photographisches Praktikum für Anfänger, 4 und 8, für Fortgeschrittene, 4; Selbständige Arbeiten, 2, 4, 8, 12, halb- und ganztägig; Physikalisch- und anorganisch-chemisches Kolloquium (mit Müller), 1 g. —

Universität Erlangen. Gudden: Experimentalphysik I, 5, für Mediziner: Mechanik, Schwingungslehre, Wärme, 4; Atomphysik für Fortgeschrittene, 2; Übungen im Beobachten und Messen für Anfänger, 4, für Fortgeschrittene, 8; Übungen in der schriftlichen und mündlichen Darlegung, für Lehramtsanwärter, 1 g; Besprechung physikalischer Tagesfragen (mit Reiger und Rump), 1 g; Wissenschaftliche Arbeiten, ganztägig. — **N. N.:** Atomphysikalische Übungen, 4; Handfertigkeitsübungen, 4. — **Reiger:** Theoretische Physik: Mechanik, 4, Übungen, 1; Wissenschaftliche Arbeiten, ganztägig. — **Rump:** Physik der Röntgenstrahlen, 1; Strahlenkunde, 2. —

Universität Frankfurt a. M. **Meißner:** Experimentalphysik I, 4; Höhere Experimentalphysik: Mechanik, Wärmelehre, 2; Die Spektroskopie im Dienste der Wissenschaft und Technik, 1; Physikalisches Praktikum, für Anfänger, 4, für Pharmazeuten, 2, für Fortgeschrittene, tägl. außer Sonnabend; Selbständige wissenschaftliche Arbeiten, tägl.; Besprechung wissenschaftlicher Arbeiten, für Fortgeschrittene, 2; Physikalisches Kolloquium (mit Madelung), 14tägig, 2; Physikalisches Seminar (mit Madelung), 14tägig, 2. — **Madelung:** Überblick über das Gesamtsystem der Naturwissenschaften I, 2; Mechanik I, 4, Übungen, nach Vereinbarung; Selbständige wissenschaftliche Arbeiten, ganztägig. — **Seddig:** Physik der Nachrichtenmittel I, 2; Photographisches Praktikum, 4 oder 8; Leitung selbständiger Arbeiten auf dem Gebiete der wissenschaftlichen Photographie, ganztägig. — **Sachs:** Leichtmetalle im Luftfahrzeugbau, 1. — **N. N.:** Der elektrische Wechselstrom, 2; Kleines elektrotechnisches Praktikum, 3 oder 6; Großes elektrotechnisches Praktikum, 5 halbe Tage; Selbständige Arbeiten auf dem Gebiete der angewandten Physik, ganztägig; Kolloquium über angewandte Physik, 14tägig, 2; Kolloquium über medizinische Physik: Lektüre und Besprechungen neuerer Arbeiten und Probleme des Gebietes, 2. — **Gramberg:** Maschinenkunde: Die wichtigsten Apparate nach Bauart und Stoff, 2. — **Rajewsky:** Einführung in die medizinische Physik III: Physikalische und technische Grundlagen der Röntgenologie, 2; Selbständige wissenschaftliche Arbeiten: Medizinische Physik, für Fortgeschrittene, halb- und ganztägig; Röntgenologisches Praktikum, 3; Biophysikalisches Seminar, 14tägig, 2. — **Linke:** Luftelektrizität, 2; Klima der Tropenzone, 1; Meteorologisch-geophysikalisches Kolloquium (mit Stüve, Baur und Mügge), 2; Leitung selbständiger Arbeiten für Fortgeschrittene, halbtägig. — **Stüve:** Dynamische Meteorologie II, 3; Graphische Arbeitsmethoden der Meteorologie, 2; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, halbtägig. — **Mügge:** Synoptische Meteorologie mit Übungen: Wetterbesprechungen, 4; Einführung in die Schwere und Schweremessungen, 1; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, halbtägig. —

Bergakademie Freiberg. **Aeckerlein:** Experimentalphysik, 4; Physikalische Übungen, 2. — **Papperitz:** Aktuelle Probleme der mathematischen Physik, 1. — **N. N.:** Geophysik, 1. —

Universität Freiburg i. Br. **Mie:** Experimentalphysik II: Elektrizität und Optik, 4; Vorlesungspraktikum Kurs I–IV (mit Kast), 2; Physikalische Übungen für Naturwissenschaftler, 6, für Fortgeschrittene (mit Kast), 6; Physikalisches und physikalisch-chemisches Kolloquium (mit v. Hevesy), 2 *g*; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl. — **Kast:** Experimentalphysik IIIb: Atomphysik, 3; Handfertigkeitsübungen, 4. — **Koenigsberger:** Einführung in die theoretische Physik: Mechanik, Akustik, Wärme, mit Übungen, 5; Kinetische Gastheorie, 1 *g*; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl. — **Hammer:** Elektrizität in Gasen, 1. — **Klumb:** Materie und Strahlung (Einführung in die Probleme der modernen Physik) I: Kinetische Wärmetheorie und Quantenmechanik, 2; Technische Physik II: Mechanik und Wärmelehre, 3; Physikalisches und physikalisch-chemisches Proseminar (mit Böhm), 1. —

Universität Freiburg (Schweiz). **Schmid:** Experimentalphysik, 5, Ergänzungen, 1, Repetitorium, 1; Aufbau der Festkörper, mit röntgenographischen Übungen, 2; Physikalisches Praktikum für Mediziner, 3, für Pharmazeuten, 4; Anfängerpraktikum für Naturwissenschaftler, 12; Physikalisches Praktikum und Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Huber:** Allgemeine Mechanik, 4. — **Brasey:** Allgemeine Elektrotechnik, 3, Übungen, 1. —

Universität Gießen. **Gerthsen:** Experimentalphysik, Elektrizität und Optik, 4, Ergänzungen, 1; Radioaktivität, 1 *g*; Physikalisches Kolloquium (mit Bechert und Cermak), 2 *g*; Physikalisches Praktikum (mit Cermak), 6 und 3; Leitung selbständiger physikalischer Arbeiten (mit Cermak), tägl. — **Bechert:** Thermodynamik und kinetische Gastheorie, 3, Übungen, 1; Wellenmechanik: Moderne Atomtheorie, 2; Seminar über moderne Fragen der theoretischen Physik, 1 *g*; Anleitung zu selbständigen theoretisch-physikalischen Arbeiten, ganztägig, *g*. — **Cermak:** Experimentalphysik für Fortgeschrittene: Kathodenstrahlen und Leitung in Gasen, 2; Handfertigkeitspraktikum, 3; Physikalisches Seminar, 2 *g*. — **Uller:** Elektrische Schwingungen und Wellen, Radiotechnik III, 1; Anleitung zu selbständigen theoretisch-physikalischen Arbeiten, tägl. — **Lihotzky:** Einführung in die optische Lichttechnik, 1 *g*; Grundlagen zur Berechnung optischer Systeme, 1. — **Georgii:** Wetter und Wettervorhersage, 2. —

Universität Göttingen. **Pohl:** Experimentalphysik: Schwingungslehre und Optik, 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Reich), *g*. — **Hilsch:** Experimentalphysik: Elektrizität, 2. — **Cario:** Experimentelle Atomphysik I: Lichtemission und -absorption, 2; Seminar als Ergänzung des physikalischen Praktikums, 2. — **Sponer:** Energieaustausch bei elementaren Stoßprozessen, 1. — **N. N.:** Physikalisches Praktikum, tägl. — **Mannkopff:** Quantitative und qualitative Verfahren der optischen Spektralanalyse, 1 Woche. — **Fues:** Theoretische Physik II: Elektrodynamik, 3, Übungen, 2; Seminar über Fragen der neueren Physik (mit Sauter), 2 *g*. — **Sauter:** Elektronentheorie der Metalle, 3; Kernphysik und Radioaktivität, 2. — **Reich:** Angewandte Elektrizität I, mit Experimenten, 2; Elektrophysikalisches Praktikum, 3; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Prandtl:** Aeromechanik, 4; Besprechungen von Fragen der angewandten Mechanik (mit Betz, Schuler und Flügge), 2 *g*; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, besonders auf dem Gebiete der Hydro- und Aerodynamik, tägl. — **Schuler:** Mechanische Schwingungslehre, 3; Mechanikpraktikum, 4; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Betz:** Konforme Abbildung, 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Kyropoulos:** Physik der Oberflächenerscheinungen und ihre Anwendungen, 2. — **Flügge:** Ausgewählte Kapitel der Flugzeugstatik, 1; Seminar über mathematische Fragen der Gasdynamik (mit Rellich), 14tägig, 2. — **Cauer:** Seminar über mathematische Fragen der Elektrotechnik, 14tägig, 2. — **Küstner:** Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten auf dem Gebiete der Röntgenphysik, tägl. *g*. — **Angenheister:** Geophysik: Schwere, Erdmagnetismus, 1, Übungen, 1; Meteorologie: Instrumente und Meßmethoden, Fortlaufende Wetterbesprechung, 1 *g*; Geophysikalisch-Meteorologisches Seminar, 1 *g*; Geophysikalisch-Meteorologisches Praktikum, $3^1/_2$ *g*; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. *g*. — **Jung:** Photogrammetrie und Luftbildwesen, mit Übungen, 2. —

Universität Graz. **Benndorf:** Experimentalphysik: Optik, 3; Experimentalphysikalisches Seminar: Lösung physikalischer Aufgaben, 2; Physikalische Übungen für Anfänger I (mit Rumpf), 4, II, 6; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. außer Sonnabend; Besprechung physikalischer Fragen (mit Rumpf), 2. — **Rumpf:** Experimentalphysik I: Mechanik, Wärme, Optik, 5. — **Rosenberg:** Methodik des Unterrichts in der Physik, 1; Übungen in der Anstellung physikalischer Schulversuche, 2. — **N. N.:** Elektrizität, 5; Seminar für Theoretische Physik, 2; Proseminar für Theoretische Physik, 2. — **Wegener:** Meteorologie und Geophysik: Allgemeine Meteorologie, 4; Ausgewählte Kapitel aus der Geophysik, 1. —

Technische Hochschule Graz. **Kohlrausch:** Physik I: Optik, 3 und 5, II: Wärmelehre, 3 und 5; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten aus den Gebieten der chemischen Physik; Physikalisches Praktikum, 6. —

Universität Greifswald. **Krüger:** Experimentalphysik II: Elektrizität und Optik, 4, Theoretische Ergänzungsstunde, 1, für Mediziner, 3; Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler, 6, für Mediziner und Pharmazeuten, 3; Praktikum der angewandten Elektrizität, 3; Anleitung zu selbständigen physikalischen Untersuchungen, tägl.; Besprechung neuerer physikalischer Arbeiten (Kolloquium) (mit Reinkober), $1^1/_2$ g. — **Seeliger:** Theoretische Physik IV: Thermodynamik, 3, Übungen, 14tägig, 2; Seminar für Fortgeschrittene: Grenzflächenphysik, 2 g; Anleitung zu selbständigen Untersuchungen, tägl. — **Reinkober:** Die Physik des Atomkerns, 2; Optische Probleme im Heeresdienst, 1; Physikalische Maßeinheiten und Meßmethoden, 1; Seminaristische Übungen zur Physik und Geophysik (mit Schlomka), 2; Physikalisches Handfertigkeitspraktikum, 3. — **Schlomka:** Luft- und Erdelektrizität, 2. — **ten Bruggencate:** Die Sonne, mit Lichtbildern, 1 g. —

Universität Halle. **Hoffmann:** Experimentalphysik, 5; Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler, 6, für Landwirte und Pharmazeuten, 2; Physikalisches Proseminar, 2 g; Physikalisches Kolloquium (mit Smekal), 2 g; Anleitung zu selbständigen physikalischen Arbeiten (mit Pose), tägl. — **Smekal:** Wärmelehre, 4; Physikalische Grundlagen der Photographie, 1; Seminar für theoretische Physik, 2; Anleitung zu selbständigen theoretischen oder experimentellen physikalischen Arbeiten, tägl. — **Pose:** Physik des Atomkerns, 1; Experimentalphysik für Fortgeschrittene: Optik, Atomistik, 2; Handfertigkeitspraktikum, 3. — **Stammler:** Das moderne Kausalproblem, 1 g. —

Universität Hamburg. **Koch:** Experimentalphysik I: Wärme, Elektrizität, 4; Physikalisches Praktikum (mit Goos, Meyer und Müller), 4; Anleitung zu wissenschaftlichen Untersuchungen (mit Tams, Goos und Meyer), tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Lenz und Möller), 2. — **Lenz:** Quantentheorie I: Einführung, 2; Optik, mit Übungen, 3; Theoretisch-physikalisches Vortragsseminar, 2. — **Goos:** Spektroskope höchster Auflösung und spektroskopische Methoden, 1. — **Meyer:** Physikalisches Proseminar (mit Knauer und Jensen), 2; Röntgeninterferenzen, 1. — **Müller:** Anleitung zur Ausführung von physikalischen Schulversuchen, 2. — **Möller:** Elektrische Maschinen mit Versuchen, 1; Elektronik, mit Demonstrationen, 2, Übungen, 1; Elektrotechnisches Praktikum, 10; Physikalisch-technisches Praktikum, 5; Physikalisch-technisches Kolloquium (mit Hagen), 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten Fortgeschrittener, tägl.; Feldnachrichtengeräte, 1. — **Hellerich:** Astrophysik I: Photometrie und Strahlung, 2. — **N. N.:** Geophysikalisches Kolloquium (mit Schott, Schulz, Tams und Kuhlbrodt), 14tägig, $1^1/_2$. — **Tams:** Konstitution des Erdkörpers, 2; Seismische Übungen, 2; Seminar über die Physik der festen Erde, 14tägig, 2. — **Jensen:** Atmosphärische Lichterscheinungen in ihrer Beziehung zur Sonnentätigkeit und zu Vulkanausbrüchen, 1; Das Problem des atmosphärischen Ozons, 1; Kosmophysikalisches Kolloquium, 2. — **N. N.:** Allgemeine Meteorologie 2; Meteorologisches Praktikum, 4; Aerophysikalische Forschungsarbeiten, tägl.; Meteorologisches Vortragsseminar, 14tägig, 2. — **Kuhlbrodt:** Wetter und Wettervorhersage: Synoptische Meteorologie, 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten in der maritimen Meteorologie, nach Vereinbarung. —

Technische Hochschule Hannover. **Precht:** Experimentalphysik, 4; Physikalisches Praktikum II, 4, III, 6; Arbeiten im physikalischen Laboratorium für Fortgeschrittene, ganz- und halbtägig; Physikalisches Kolloquium (mit Herweg und Fues), 2. — **Fues:** Theoretische Physik, 3, Übungen, 2; Seminar über Fragen der neueren Physik, 2; Einführung in die Methode der theoretischen Physik, 2, Übungen, 1. — **Seilkopf:** Wetter und Wettervorhersage: Synoptische Meteorologie, 1, Übungen, 1. — **Herweg:** Drahtlose Telegraphie und Telephonie I, 2; Photographie, 2; Photographisches Praktikum, 3; Hochfrequenzpraktikum, 4 und 3; Arbeiten im Hochfrequenzlaboratorium für Fortgeschrittene, 6, halb- und ganztägig; Hochfrequenz-Kolloquium, 2. — **Hase:** Maschinenmeßkunde, 2; Temperaturmessung, 1; Praktikum für Wärmemeßtechnik, 3; Anleitung zu selbständigen Arbeiten im Institut für Wärmemeßtechnik, 6. —

Universität Heidelberg. **N. N.:** Einführung in die gesamte Experimentalphysik, 4; Physikalisches Praktikum (mit Schmidt), 3 und 6; Leitung selbständiger physikalischer Arbeiten mit Großpraktikum (mit Becker), tägl. außer Sonnabend; Physikalisches Seminar und Kolloquium (mit Becker) $1^1/_2$ g. — **Becker:** Theoretische Mechanik, 4; Atomphysik, 1; Theoretisch-physikalische Übungen, $1^1/_2$ g. — **Schmidt:** Radiologie: Absorption und Emission des Lichtes, 2; Selbständige physikalisch-technische Arbeiten, tägl.; Meldetechnik, 1; Funktechnik (mit Wesch), 1, Übungen (mit Wesch), 3; Seminar für angewandte Physik für Studentinnen (mit Wesch), 2. — **Bothe:** Kolloquium über naturwissenschaftlich-medizinische Arbeiten (mit Krehl, Kuhn und Meyerhof), 14tägig, 1. — **Peppler:** Synoptische Meteorologie, 2. — **Bohrmann:** Übungen zur Wetterkunde, 1. —

Universität Innsbruck. **Lerch:** Experimentalphysik I, 5; Physikalisches Praktikum (mit Tagger), 6; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, 10; Besprechung neuerer physikalischer Arbeiten (mit Sexl und Tagger), 1 g. — **Heß:** Wellenlehre und Akustik, 3; Luftelektrizität, 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten Vorgeschrittener, 10. — **Sexl:** Elektrizität, 5; Seminaristische Übungen, 2. — **Sonvico:** Wechselstromtechnik, 2 g. — **Oberguggenberger:** Astrophysik III: Der einzelne Stern, Sternhaufen und Nebel, 3; Astrophotometrie, mit Übungen, 2; Besprechung

neuerer Arbeiten aus dem Gebiet der Astrophysik, 1; Praktische Übungen auf der Sternwarte, 10. — **Wagner:** Klimatologie, 3; Physikalische Ozeonographie, 2; Wissenschaftliche Arbeiten Fortgeschrittener, 10; Geophysikalisches Vortragsseminar (mit Ekhart), 1. — **Ekhart:** Moderne Wetteranalyse, 1. —

Universität Jena. **Wien:** Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 3; Physikalisches Praktikum, für Mathematiker und Physiker (mit Hanle), 6, für Chemiker und Pharmazeuten (mit Hanle), 4, Kleines Praktikum (mit Hanle), $2^1/_2$, für Fortgeschrittene (mit Joos und Hanle), 10; Leitung physikalischer Spezialaufgaben (mit Straubel, Joos und Hanle), tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Esau und Joos), 2. — **Joos:** Mechanik der festen, flüssigen und gasförmigen Körper, 3, Übungen (mit Wessel), 1; Vortragsseminar für höhere Semester (mit Wessel), 1 g; Molekularstatistik und Theorie der Wärmestrahlung, 2; Physikalisches Proseminar (mit Hanle), 1 g; Anleitung zu selbständigen theoretisch-physikalischen Untersuchungen, tägl. — **Bauersfeld:** Elastizitätslehre, 1. — **Hanle:** Experimentalphysik für Fortgeschrittene II: Optik, 2; Magneto- und Elektrooptik, 1; Handfertigkeitspraktikum, 3. — **Wessel:** Ausbreitung elektromagnetischer Wellen, 2; Elektronenstoßprobleme, 2. — **Esau:** Theorie und Anwendung der Elektronenröhre, 3; Technisch physikalisches Praktikum, 3; Großes technisch-physikalisches Praktikum, tägl.; Technisch-physikalisches Seminar, 2 g. — **H. Müller:** Theorie quasistationärer Ausgleichsvorgänge, 1; Theorie nichtstationärer Ausgleichsvorgänge: Theorie der Leitungen, 1. — **Henry Siedentopf:** Dunkelfeldbeleuchtung und Ultramikroskopie, 1. — **Rzymkowski:** Photographisches Praktikum II, für Fortgeschrittene, 3. — **Heinrich Siedentopf:** Theoretische Astrophysik I, 2; Aufbau des Sternsystems, 1; Astronomische und astrophysikalische Übungen, 3; Astronomisches Kolloquium, 2 g; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl. — **Sieberg:** Mechanik der Erdrinde, 1; Erdbebenkundliches Praktikum, g; Anleitung zu selbständigen erdbebenkundlichen Arbeiten, tägl. g; Erdbebenkundliches Kolloquium, nach Vereinbarung g. — **Meisser:** Einführung in die Geophysik, 1 g. — **Hecker:** Geophysikalisches Praktikum: a) Einführung in die Instrumentenkunde der geophysikalischen Aufschließungsmethoden (mit Meisser), 2 g, b) Allgemeine geophysikalische Untersuchungsmethoden (mit Meisser), 2 g; Anleitung zu selbständigen geophysikalischen Untersuchungen (mit Meisser), tägl. g. — **M. Müller:** Luftelektrizität, 1 g. —

Technische Hochschule Karlsruhe. **Bühl:** Physik I A (Experimentalphysik), 3; Theoretische Optik B, 2; Physikalisches Laboratorium, 6; Physikalisches Laboratorium für Maschineningenieure, 3, für Vorgeschrittene, 6; Anleitung zu selbständigen Arbeiten im physikalischen Institut, nach Vereinbarung; Physikalisches Kolloquium (mit Weizel, Finkelnburg und Riede), 14tägig, 2. — **Weizel:** Theoretische Physik C: Elektrodynamik, Optik, 4, Übungen (mit Finkelnburg), 1; Moderne Gebiete der Physik: Gasentladungen, 2; Spektroskopische Übungen, 2; Atomzertrümmerung, 1 g; Theoretisch-physikalisches Seminar über Mechanik (mit Finkelnburg), 14tägig, 2 g. — **Peppler:** Allgemeine Meteorologie, 2; Meteorologische Übungen, 2. — **Riede:** Physikalische Meßmethoden B, 2. —

Universität Kiel. **Rausch v. Traubenberg:** Experimentalphysik: Mechanik, Akustik, Wärme, 4, für Mediziner, 3; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 4, für Fortgeschrittene, 8; Forschungsarbeiten, tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Unsöld und Martienssen), $1^1/_2$ g. — **Unsöld:** Elektrodynamik, 4, Übungen, 1; Einführung in die Quantenmechanik (Seminar), $1^1/_2$ g; Physikalisches Seminar, $1^1/_2$ g. — **Martienssen:** Einführung in die Elektrotechnik, 2. — **Schmidt:** Übungen im Schulexperimentieren für Lehramtskandidaten, 1. —

Universität Köln. **Rinkel:** Experimentalphysik: Elektrizität und Magnetismus, Wärme, 4; Physikalisches Anfängerpraktikum (mit Hiedemann), 7; Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene (mit Hiedemann), 9, für Mediziner (mit Hiedemann), 3; Anleitung zu wissenschaftlichen Untersuchungen (mit Falkenhagen und Hiedemann), 4 Tage. — **Försterling:** Elektrodynamik, 4, Übungen, 1; Mathematik und Physik in ihrer Beziehung zur Wehr (mit Cremer, Dorge, Lassen, Malsch), 2 g; Praktikum für Fortgeschrittene (mit Malsch), 4; Leitung wissenschaftlicher Arbeiten (mit Malsch), tägl.; Kolloquium über neuere Arbeiten aus dem Gebiete der Physik, 2. — **Falkenhagen:** Mathematische Behandlung der Physik I, 3, Übungen, 2; Struktur der Materie: Besprechung aktueller Fragen aus der Physik (mit Hiedemann), 14tägig, 2. — **Malsch:** Experimentalphysik für Fortgeschrittene: Elektrizität, 1. — **Lassen:** Technische Elektrizitätslehre II: Elektrische Schwingungen, Hochfrequenztechnik, 3, Übungen, 1; Wissenschaftliche Untersuchungen, tägl. — **Hiedemann:** Experimentalphysik für Fortgeschrittene: Wellenlehre, 2, Übungen, 1. —

Universität Königsberg. **Kaufmann:** Experimentalphysik I: Mechanik, Wärme, Optik, für Mediziner und Pharmazeuten, 4, für Physiker (mit Steinke und Stuart), 5; Physikalisches Proseminar, 14tägig, 2 g; Physikalisches Kolloquium (mit Gans und Kretschmann), 14tägig, 2 g; Physikalisches Praktikum (mit Gans), für Physiker und Mathematiker, 6, für Biologen und Chemiker, 3; Selbständige Arbeiten für Fortgeschrittene (mit Steinke), g. — **Gans:** Theorie des Lichts, 4; Selbständige Arbeiten in theoretischer und experimenteller Physik, ganztägig, g; Übungen zur theoretischen Physik, 1 g; Physikalisches Seminar (mit Kretschmann, Steinke, Stuart), 14tägig, 2. — **Steinke:** Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, Optik, für Landwirte und Wirtschaftler, 2, Übungen, 1, II: Elektrizität, 2, Übungen, 14tägig, 2. — **Kretschmann:** Atomphysik, 4. — **Reichenbächer:** Relativitätstheorie, 2. — **Stuart:** Atombau, 1; Übungen im Demonstrieren von physikalischen Versuchen, 1. — **Raethjen:** Thermodynamik der Atmosphäre, mit Übungen, 2; Luftbild-Photogrammetrie, mit Übungen, 1; Meteorologisches und aerologisches Praktikum (Flughafen Devau), nach Vereinbarung, g; Besprechung geophysikalischer und meteorologischer Arbeiten (mit Errulat), 2 g. — **Errulat:** Angewandte Geophysik, 2; Geophysikalische Übungen, 3 g. —

Universität Leipzig. **Deybe** (durch **Kirchner**): Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 5; Höhere Physik, experimentelle und mathematische Ergänzungen zur allgemeinen Experimentalphysik, 1; Physikalisches Praktikum, 3, 6 oder 9, für Fortgeschrittene, 9; Selbständige physikalische Arbeiten, 24 oder 44; Physikalisches

Praktikum für Mediziner, Veterinärmediziner, Zahnärzte und Pharmazeuten, 3; Seminar über die Arbeiten des Instituts, $1^1/_2$ g; Physikalisches Kolloquium (mit Heisenberg), 1 Abend g. — **Heisenberg:** Grundfragen der modernen Physik, 3; Seminar über die Struktur der Materie (mit Hund), 2 g; Selbständige theoretisch-physikalische Arbeiten (mit Hund). — **Hund:** Theoretische Physik II: Wärmelehre, 4, Übungen, 1; Einführung in die mathematische Behandlung naturwissenschaftlicher Fragen, 2, Übungen, 1. — **Schiller:** Technische Mechanik starrer Körper: Graphische Statik, Kreisel, 2; Technisch-physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene: Angewandte Mechanik und Thermodynamik, 9; Selbständige technisch-physikalische Arbeiten: Angewandte Mechanik und Thermodynamik, 24 oder 44; Seminar: Besprechung neuerer Arbeiten (Hydro-, Aero- und Thermodynamik), 14tägig, 2 g. — **Karolus:** Elektrotechnik I, 2, Übungen, 3; Technisch-physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene: Angewandte Elektrizitätslehre, 9; Selbständige technisch-physikalische Arbeiten: Angewandte Elektrizitätslehre, 24 oder 44. — **Kirchner:** Kathodenstrahlen und Röntgenstrahlen, 2; Radiologisches Praktikum, 2; Selbständige physikalische Arbeiten, 24 oder 44. — **Möbius:** Elektronen, Atome, Moleküle, 1. — **Kaempf:** Photographie unter besonderer Berücksichtigung der Farbenphotographie, 1. — **Schmidt:** Vektoranalysis, 2. — **Weickmann:** Thermodynamik der Atmosphäre, 2; Erdbebenkunde, 2 g; Arbeiten im Geophysikalischen Institut und im Observatorium am Collmberge, tägl. g; Geophysikalisches Praktikum, 3; Geophysikalisches Kolloquium, 2 g. —

Universität Marburg. **Grüneisen:** Experimentalphysik I, 5, für Mediziner, 3; Physikalisches Kolloquium, 2 g; Physikalisches Praktikum für Anfänger (mit Kneser), 6, für Mediziner, 3, für Fortgeschrittene: Leitung wissenschaftlicher Arbeiten (mit Schulze, Kneser und Vogt), tägl. — **Schulze:** Einführung in die theoretische Physik: Mechanik, Wärme, $1^1/_2$; Theorie der Elektrizität und des Magnetismus, 5; Theoretisch-physikalisches Seminar, 2 g. — **Kneser:** Einführung in die Quantenmechanik, 2. — **Vogt:** Technische Physik: Elektrizität und Magnetismus, 2. — **Berek:** Einführung in die Behandlung der Diffraktionserscheinungen und Anwendung auf optische Instrumente, 2. —

Universität Münster. **N. N.:** Experimentalphysik, 5; Physik für Mediziner, 3; Physikalisches Praktikum für Anfänger (mit Durau), 3 oder 6, für Fortgeschrittene, tägl.; Physikalisches Seminar (mit Durau), 2 g. — **Kratzer:** Elektrodynamik mit Übungen, $5^1/_2$; Theorie der Spektren, 3; Seminar über Atombau, 14tägig, 2 g; Seminar über Raum und Zeit (mit Scholz), 14tägig, 2 g. — **Siemens:** Angewandte Elektrizitätslehre I, 2. — **Durau:** Ergänzungen zum physikalischen Praktikum, 1; Physikalisches Halbpraktikum, tägl. außer Sonnabend, für Fortgeschrittene, tägl. außer Sonnabend. —

Universität Prag. **Fürth:** Experimentalphysik I, 5, Ergänzungen, 2; Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler, 6, für Pharmazeuten, 3; Handfertigkeits- und Demonstrationspraktikum (mit Blüh), 3; Übungen über technische Physik, 4; Physikalisches Kolloquium (mit Frank, Blüh und Glaser), 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten für Fortgeschrittene, tägl. — **Frank:** Atommechanik, 5; Seminar für theoretische Physik, 2. — **Blüh:** Einführung in die Physik, 5; Die experimentelle Bestimmung der physikalischen Fundamentalkonstanten, 2; Physikalisch-historische Lektüre, 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Glaser:** Einführung in die theoretische Physik III: Theorie der Wärme, 3; Hydrodynamik und Elastizitätslehre, 2; Übungen im praktischen Lösen von Aufgaben aus der theoretischen Physik, 2. — **Pollak:** Allgemeine Geophysik, 3; Physik der Sonnen- und Himmelsstrahlung, 2; Übungen für Fortgeschrittene, 15; Geophysikalisches Praktikum, 4. —

Technische Hochschule Prag. **Tuma:** Physik, 5; Physikalisches Praktikum, 3 und 6; Technische Physik, 3. — **Lichtenecker:** Grundzüge der theoretischen Physik: Theorie der Wärmestrahlung, 2. — **Körner:** Wärmelehre der Gase, 2. —

Universität Rostock. **Füchtbauer:** Experimentalphysik: Elektrizität, Wärme, 4; Physikalische Übungen, 8 und 4; Wissenschaftliche Arbeiten, tägl.; Physikalisches Seminar (Kolloquium) (mit Jordan und Kunze), 14tägig, $1^1/_2$ g. — **Jordan:** Theoretische Optik, mit Übungen, 4; Atomphysik, 2. — **Falckenberg:** Allgemeine Meteorologie, 1; Meteorologisches Kolloquium, 14tägig, $1^1/_2$ g; Meteorologisches Praktikum für Anfänger, 4, für Fortgeschrittene, tägl. — **Kunze:** Transformatoren und Wechselstrommaschinen, 1; Forschungsergebnisse der modernen Physik, 1. —

Technische Hochschule Stuttgart. **Regener:** Experimentalphysik, 4; Physikalisches Praktikum für Anfänger (mit Braunbek), 3, für Bauingenieure, 14tägig, 2, für Fortgeschrittene, 6; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten (mit Braunbek), tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Ewald und Glocker), $1^1/_2$. — **Braunbek:** Ergänzungen zur Experimentalphysik, 2; Übungsbeispiele in Physik II, 2. — **Kramer:** Einführung in die wissenschaftliche Photographie, 3. — **Ewald:** Theoretische Physik I: Mechanik, 4, Übungen, 3; Anleitung zu Arbeiten auf dem Gebiet der theoretischen Physik, nach Vereinbarung; Seminar über Atomphysik (mit Hückel, Hermann und Hönl), 2. — **Hückel:** Quantentheorie der Molekularkräfte, insbesondere Theorie der Valenz, 2, Übungen, 1; Probleme der Reaktionsgeschwindigkeit, 2. — **Hermann:** Wellenmechanische Probleme im Kristallgitter, 2. — **Hönl:** Die Funktionen der mathematischen Physik, 2. — **Glocker:** Röntgentechnik, 2; Röntgenpraktikum für Anfänger, 3, für Fortgeschrittene (mit Dehlinger), 3; Übungen zur Materialprüfung mittels Röntgenstrahlen (mit Dehlinger), 3; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten im Röntgenlaboratorium (mit Dehlinger), tägl. — **Dehlinger:** Aufbau und Technologie kristalliner Stoffe: Metallphysik, 1; Statistische Thermodynamik für Chemiker und Physiker, mit besonderer Berücksichtigung der festen Körper, 2. — **Kleinschmidt:** Flugmeteorologie, 1; Einführung in die allgemeine Klimatologie, 1. —

Universität Tübingen. **Geiger:** Experimentalphysik: Elektrizität, Optik, 4; Physikalische Übungen für Anfänger, 4, für Fortgeschrittene, 8 oder 4, für Mediziner, 3; Wissenschaftliche Untersuchungen, ganztägig; Physikalisches Kolloquium, 2 g; Seminar über kosmische Ultrastrahlung, nach Vereinbarung g. — **N. N.:** Theoretische Optik, 4. — **Back:** Einführung in die Spektroskopie, 2. —

Universität Wien. **Jäger:** Elektrizitätslehre, 5; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, tägl.; Besprechung neuerer Arbeiten, 1 g. — **Meyer:**

Radioaktivität, 3; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener im Radiuminstitute, tägl. — **Ehrenhaft:** Experimentalphysik I, 5, Theoretische Ergänzungen, 1, Demonstrationsergänzungen, 1; Seminar: Die Physik des submikroskopischen Probekörpers, 1; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, tägl. — **Schweidler:** Experimentalphysik I, 5, Demonstrationsergänzung, 1; Mittelschul-Experimentier-Praktikum, 6; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, tägl. — **Thirring:** Theoretische Optik, 5; Seminar für theoretische Physik, 1; Proseminar für theoretische Physik, nach Vereinbarung. — **Haschek:** Experimentalphysik I, 5; Physikalisches Praktikum für Lehramtskandidaten, 6, für Vorgeschrittene, 10; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Kottler:** Einführung in die theoretische Physik und ihre mathematischen Hilfsmittel I, 5. — **Przibram:** Einführung in die Atomistik: Aufbau der Materie aus kleinsten Teilchen und deren Beschaffenheit, 2, Mathematische Ergänzungen, 1. — **Lampa:** Physik, 2. — **Haas:** Vektoranalysis, 1. — **Kirsch:** Atombau, 3, Übungen, 1; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, tägl.; Einführung in wissenschaftliche Arbeiten (mit Stetter), tägl. — **Stetter:** Physikalische Grundlagen und Anwendungen der Verstärkerröhre, 2; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, tägl. — **Flamm:** Partielle Differentialgleichungen der Physik I, 3, Rechenübungen, 1. — **Mattauch:** Über die Wechselwirkungen zwischen Strahlung und Materie, 2. — **Bauer:** Theorie der Bandenspektren und des Ramaneffektes, 1; Quantenstatistik, 1. — **Ortner:** Mathematische Hilfsmittel des Experimentalphysikers, 2. — **Seidl:** Ausgewählte Kapitel der Optik, 2. — **Schmidt:** Allgemeine Klimakunde, 3; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl.; Meteorologie für Flieger, 4 Wochen; Besprechungen neuerer meteorologischer Literatur (mit Conrad und Schedler), 2 g. — **Conrad:** Das Klima der Polarkappen, 2. — **Schedler:** Gewitter, 1. —

Universität Zürich. **Meyer:** Experimentalphysik: Mechanik, Akustik, Wärme, 5, Ergänzungen, 1, Seminar (mit Bär), 2 g; Physikalisches Kolloquium (mit Wentzel und Bär), 2 g; Physikalisches Praktikum für Anfänger, $3^1/_2$, für Vorgerücktere, halbtägig; Ausführung selbständiger wissenschaftlicher Arbeiten, tägl. — **Wentzel:** Theorie des Lichtes, 4; Elektronentheorie, 1; Quantenstatistik, 1; Übungen zur Optik, 1; Theoretisch-physikalisches Seminar, 2 g. — **Ratnowsky:** Tensoranalyse, 2. — **Bär:** Übungen im Demonstrieren von Schulexperimenten, 2. — **Schein:** Magneto- und Elektrooptik, 1; Repetitorium der Experimentalphysik, für Mediziner, 1. — **Zuber:** Physik der Gasentladungen, 1. — **Frl. Stücklen:** Spektroskopie, 1. — **Stueckelberg:** Theorien der Radioaktivität und des Baues der Atomkerne, 1. —

Technische Hochschule Zürich. **Scherrer:** Physik I, 4, Repetitorium, 1; Atombau, 2; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 4 und 8, für Fortgeschrittene, 8, 12 und 24; Physikalisches Kolloquium (mit Pauli und Tank), 2; Selbständige Arbeiten in Physik, 8, 12 und 24. — **Pauli:** Optik und Elektronentheorie, 3, Übungen, 1; Quantenmechanik, 2; Wissenschaftliche Arbeiten in theoretischer Physik, tägl. — **Tank:** Experimentalphysik II, 3, Übungen, 1; Hochfrequenztechnik I, 2; Technische Optik, 2; Praktikum in Hochfrequenztechnik, 4, 8 und 12; Selbständige Arbeiten in Physik, 8, 12 und 24; Diplomarbeiten in Hochfrequenztechnik. — **Fischer:** Verstärker und Siebketten, 2. — **Trümpler:** Wärmeübergangsfragen der chemischen Technik, mit Übungen, 1. — **Sänger:** Atom- und Molekülspektren II, 2. — **Rüst:** Photographie I, 2; Kinematographie, 1; Photographisches Praktikum, 2; Photographisches Vollpraktikum, tägl. — **Brandenberger:** Die Röntgenstrahlen im Dienste der Metallkunde, 1 g. — **Gassmann:** Geophysikalische Methoden, 2, Übungen, 3. — **Herzog:** Radioaktivität, 2. — **Kienast:** Ausgewählte Kapitel über Randwertprobleme, 2. — **Lehmann:** Wetter- und Klimalehre, 2; Die Bodengestaltung des Festlandes, 2; Allgemeine Meteorologie mit Rücksicht auf das Flugwesen, 1; Geographische Übungen (Praktikum), 4. — **Osswald:** Architekturakustik und Schallisolation, 2. — **Zeller:** Photogrammetrie II: Luftphotogrammetrie, 2, Übungen, 2. —

NACHRICHTEN.

Ernannt: Der Privatdozent für Chemie an der Universität Bonn Dr. Robert Wizinger zum a. o. Professor ebenda, der Privatdozent an der Universität Kiel Dr. Erhard Tornier zum ord. Professor der Mathematik an der Universität Göttingen, der Oberingenieur der Firma Brown, Boveri & Co, Mannheim Dr.-Ing. Theodor Buchhold zum ord. Professor für Elektrotechnik an der Technischen Hochschule Darmstadt, der Privatdozent für Chemie an der Universität Kiel Dr. Kurt Alder zum a. o. Professor daselbst, der a. o. Professor an der Universität Rostock Dr. Franz Bachér zum ord. Professor für organische Chemie an der Technischen Hochschule Berlin, der a. o. Professor an der Tschechoslowakischen Technischen Hochschule in Brno (Brünn) Dr. Jaroslav Dédek zum ord. Professor der chemischen Technologie der Kohlehydrate ebenda.

Neuer Lehrauftrag: Der a. o. Professor für Physik an der Universität Göttingen Fräulein Dr. Hertha Sponer auf drei Jahre an die Universität Oslo für Vorlesungen und Ausführung bestimmter Forschungen.

In den Ruhestand: Der ord. Professor der Chemie an der Universität Budapest Dr. Ludwig Winkler, der ord. Professor der Mathematik an der Universität Gießen Dr. Hans Mohrmann.

Gestorben: Der Professor der Chemie Geh. Regierungsrat Dr. Bernhard Lepsius in Berlin, früher Leiter der Deutschen Chemischen Gesellschaft und erster technischer Direktor der Griesheim-Elektronwerke.

Gesuche.

Prom. techn. Physiker,

28 Jahre, langjähr. SA-Mann, sucht dringend Stellung. Gute Zeugnisse: Hochschulassistent, erfahren in Hochvakuumtechnik, Lichtelektrizität (Photozellen), Gasentladungen bei hohen und niederen Drucken, Hochspannung. Frdl. Angebote erbeten an den Verlag unter S. H. 53.

Für die Schriftleitung verantwortlich Prof. Dr. P. Debye in Leipzig. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck: Bibliographisches Institut AG., Leipzig.